



Facultad de ciencias económicas y empresariales.

**ANÁLISIS DEL SECTOR DE LAS ENERGÍAS
RENOVABLES Y SU IMPACTO ECONÓMICO.
LA ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO.**

Autor: Sara Sánchez Ramos

Profesor: María Gloria Martín Antón

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis del sector de las energías renovables, incidiendo especialmente en el aspecto económico. Se analiza la situación de las renovables en España, en Europa y en el mundo. Así, se tratan aspectos como el impacto que ha tenido la crisis económica y sanitaria causada por la Covid-19 en este sector o como los distintos países consideran a las renovables como motor de recuperación económica, entre otros. Además, se estudiará la denominada “economía del hidrógeno”, incidiéndose en las oportunidades sociales y económicas que presenta y en el papel que jugará el hidrógeno verde en un futuro.

Palabras clave

Energías renovables, hidrógeno, impacto económico, medioambiente, crisis.

ABSTRACT

This research paper analyses the renewable energy sector, with special emphasis on the economic aspect. It analyses the situation of renewable energies in Spain, Europe and the world. Aspects such as the impact of the economic and health crisis caused by Covid-19 on the sector and how different countries consider renewables to be a driving force for economic recovery, among others, are addressed. In addition, the so-called "hydrogen economy" will be studied, with emphasis on the social and economic opportunities it presents and the role that green hydrogen will play in the future.

Key words

Renewable energy, hydrogen, economic impact, environment, crisis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
LISTA DE ABREVIATURAS.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
I. Justificación del tema.....	9
II. Objetivo del trabajo.....	10
III. Estructura del trabajo.....	10
IV. Metodología empleada.....	11
CAPÍTULO 1. ANÁLISIS DEL SECTOR DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y SU IMPACTO ECONÓMICO.....	12
1.1 Conceptos básicos.....	12
1.1.1 Concepto de energía.....	12
1.1.2 Tipos de energía.....	12
1.1.3 Mix energético.....	16
I. <i>El mix energético a nivel nacional.</i>	16
II. <i>El mix energético a nivel mundial.</i>	17
1.2 El impacto económico de las energías renovables.....	19
1.3 Las energías renovables y la crisis causada por el Coronavirus.....	27
1.4 Las energías renovables como motor de recuperación económica.....	31
CAPÍTULO 2. LA ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO.....	34
2.1 Introducción.....	34
2.2 Concepto de hidrógeno y propiedades.....	36
2.2.1 Clasificación.....	36
2.3 El papel del hidrógeno en la descarbonización. Usos actuales y potenciales del hidrógeno.....	38

2.3.1	Papel en la descarbonización.....	38
2.3.1.1	Renovables y almacenamiento.....	38
2.3.2	Sector industrial.....	40
2.3.3	Sector del transporte.....	41
2.3.4	Sector residencial y comercial.....	41
2.4	Barreras del Hidrógeno como vector energético	42
2.5	Cadena de valor del hidrógeno	46
2.5.1	Producción.....	46
I.	<i>Producción de hidrógeno a partir de energías renovables.</i>	46
II.	<i>Producción a partir de gas natural.</i>	47
2.5.2	Almacenamiento.....	47
I.	<i>Depósitos a altas presiones.</i>	47
II.	<i>Materiales sólidos.</i>	48
2.5.3	Transporte.....	48
I.	<i>En función del estado del hidrógeno.</i>	48
II.	<i>En función del medio de transporte.</i>	49
2.6	La transición hacia la economía del hidrógeno. Políticas económicas necesarias. 49	
2.7	Oportunidad en el sector de la aviación.....	53
2.7.1	Hidrógeno en el sector energético.....	53
2.7.2	Causas.....	54
2.8	Futuro y oportunidades del hidrógeno.	56
CAPÍTULO 3. CONCLUSIONES.....		60
BIBLIOGRAFÍA.....		64

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura I: Comparativa del mix energético español de los años 2019 y 2020.

Figura II: Producción de electricidad de la OCDE por tipo de combustible. Comparación interanual

Figura III: Precio de referencia de las turbinas fotovoltaicas y eólicas terrestres y capacidad instalada acumulada.

Figura IV: Beneficio acumulado por el incremento del PIB mundial ocasionado por la transición energética.

Figura V: Evolución del PIB (% cambio respecto a 2020).

Figura VI: Tasa de variación anual del PIB mundial.

Figura VII: Variación de la demanda energética en los años 2019 y 2020.

Figura VIII: Efecto de la Covid-19 en la demanda energética mundial.

Figura IX: Cuota de generación solar durante el año 2016.

Figura X: Previsión de la gama global de costes nivelados de producción de hidrógeno a partir de grandes proyectos.

Figura XI: Demanda potencial de hidrógeno en distintos escenarios en función de la agresividad de la política empleada en relación con el hidrógeno.

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla I: Número de puestos de trabajos creados en España por el sector renovable. Años 2018 y 2019.

LISTA DE ABREVIATURAS.

AAI: Autorización Ambiental Integrada.

APPA: Asociación de Empresas de Energías Renovables.

GWh: Gigavatio-hora.

IDEA: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

IEA: Agencia Internacional de la Energía.

IRENA: Agencia Internacional de las Energías Renovables.

MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

MITERD: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

PIB: Producto Interior Bruto.

PNIEC: Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.

(SMR). *Steam methane reforming.*

INTRODUCCIÓN.

I. Justificación del tema.

Vivimos en un mundo que depende en su totalidad de la energía. Diversos estudios estiman que la demanda energética mundial aumentará entre un 25% y un 30% en el año 2040 (Iberdrola, 2021). Esto puede suponer un gran problema para el medio ambiente si esta demanda energética se satisface mediante fuentes contaminantes. Por ello, el fomento de las energías renovables es fundamental para alcanzar una sociedad que se sustente sobre una economía verde impulsada por energías limpias como el hidrógeno renovable.

Los distintos Estados miembros y demás potencias a nivel mundial han establecido una serie de objetivos medioambientales para atajar el problema del cambio climático. En este sentido, en el Acuerdo de París celebrado en 2015, se acordó mantener el incremento de la temperatura media global por debajo de los 2° centígrados (Naciones Unidas, 2018). Para ello, cada uno de los países ha fijado en su agenda política diversas vías de actuación para alcanzar estos objetivos. En el caso de España, contamos con el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima elaborado por el Ministerio para la transición ecológica y reto demográfico. En este texto se han determinado las actuaciones necesarias para reducir en un 23% las emisiones de gases de efecto invernadero, logrando una economía verde que sea beneficiosa e impacte positivamente en el PIB nacional.

Es innegable que el futuro del mundo, y por ende de la economía, es verde. Por ello, tanto el sector público como el privado vienen realizando grandes esfuerzos para transformar la economía y potenciar las energías renovables, utilizándolo a su vez cómo ventaja competitiva frente a otros países, mientras realzan su propia economía y consiguen una mayor independencia de los países exportadores de carbón, petróleo y gas natural.

II. Objetivo del trabajo.

En este trabajo de investigación se tratará de determinar el impacto que tiene el sector de las energías renovables en la economía, así como otro tipo de beneficios sociales o de eficiencia energética. Además, se incidirá particularmente en el hidrógeno verde y en la futura economía del hidrógeno que pretenden lograr los distintos países debido a sus beneficios ambientales y a su potencial para reactivar la economía, que se ha visto paralizada a causa de la crisis de la COVID-19.

III. Estructura del trabajo.

El presente trabajo se dividirá en 3 capítulos. En el primero de ellos se analizará el sector de las energías renovables. Se definirán los distintos tipos de energía y la situación de cada una de ellas el panorama energético tanto nacional como mundial. Además, se tratará de determinar el impacto económico de las energías renovables, prestando gran atención al impacto de la COVID-19 en este sector. Por último, se analizará como los distintos gobiernos están utilizando al sector de las energías renovables como motor de recuperación económica.

En el segundo capítulo, se detallará la economía del hidrógeno. Para ello en primer lugar se dará una definición del concepto de hidrógeno y se explicarán las propiedades de este elemento. A continuación, se mencionará el papel del hidrógeno en la descarbonización del medio ambiente, así como sus usos potenciales y actuales. Además, se explicarán las barreras a las que se enfrenta el hidrógeno y su cadena de valor, junto con las políticas económicas que se están llevando a cabo para fomentar la transición hacia la economía del hidrógeno. Por último, se analizarán las oportunidades económicas que presentará este elemento en un futuro, incidiendo particularmente en el sector de la aviación.

En el tercer capítulo se darán las conclusiones a las que se han llegado tras realizar este trabajo de investigación.

IV. Metodología empleada.

Para la realización de este trabajo investigación se ha utilizado un método deductivo. Además, se le ha dado un enfoque analítico, recabando y recogiendo una amplia literatura y estudios sobre el sector de las energías renovables y del hidrógeno para determinar el impacto de este sector en la economía y el medio ambiente. Por último, mencionar que en el presente trabajo de fin de grado se analizará, tanto la situación nacional española, como la europea y mundial.

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS DEL SECTOR DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y SU IMPACTO ECONÓMICO.

1.1 Conceptos básicos.

1.1.1 Concepto de energía.

Diversos autores han dado distintas definiciones del concepto de energía, relacionándolas con distintos principios físicos. Sin embargo, no se ha llegado a una definición expresa del término energía, por lo que a continuación se proponen dos definiciones de este concepto:

Manuel Alomá, Eduardo y Malaver, definen la energía como la *“Propiedad o magnitud física que puede transformarse o transmitirse y que interviene en los procesos de cambios de estado”* (Alomá et al, 2007).

En la misma línea, López Rupérez, en Hierrezuelo y Molina (1990) establecía que la energía es aquella *“Propiedad o atributo de todo cuerpo o sistema material en virtud del cual éste puede transformarse, modificando su situación o estado, así como actuar sobre otros originando en ellos procesos de transformación”* (Alomá et al, 2007).

Una vez definido el concepto de energía, cabe distinguir, para el tema que nos ocupa, entre energía renovable y no renovable.

1.1.2 Tipos de energía.

Existen diversas clasificaciones de la energía, en función de sus distintas propiedades. Sin embargo, en relación con las fuentes de energía, es necesario diferenciar entre energías no renovables y energías renovables.

a. Energías no renovables.

Las energías no renovables son aquellas que proceden de fuentes de energía agotables, al existir estas de forma limitada en la naturaleza, disminuyendo los recursos naturales a partir de los cuales se obtiene la energía con su respectiva explotación. Dentro de este tipo de energía se encuentran los combustibles fósiles y la energía nuclear (Colino et al, 2010).

Por un lado, los combustibles fósiles consisten en una fuente de energía que se forma a través de la descomposición de materia orgánica que, al ser quemada para calentar agua, genera un vapor que hace girar la turbina de un generador eléctrico, produciendo de esta forma la energía. Los combustibles fósiles más comunes son el carbón, el petróleo y el gas natural (Nabalía energía, 2018).

Por otro lado, la energía nuclear es aquella liberada en las reacciones nucleares de forma espontánea o artificial mediante la utilización de reactores nucleares. Esta energía generada es aprovechada para la producción de otros tipos de energía, como puede ser la energía eléctrica o la térmica. En este sentido, las formas más comunes de obtención de la energía aprovechable a través de la nuclear son la fusión y fisión nuclear, que presentan varios problemas relacionados con los residuos radiactivos que generan (Conesa, 2011).

b. Energías renovables.

Según la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, la energía renovable es aquella proveniente de fuentes naturales, no fósiles. Se trata de una fuente inagotable, al ser energía que llega de forma continuada a nuestro planeta como, por ejemplo, la radiación solar. A continuación, se dará una breve definición de algunas de las fuentes renovables, en función de su importancia y presencia actual.

- i. Biomasa. Fuente energética que consiste en materia orgánica, de origen animal o vegetal. La transformación de la biomasa en energía se lleva a cabo fundamentalmente mediante métodos termoquímicos o bioquímicos (Endesa, s.f.).
- ii. Biogás. Combustibles obtenidos de la reutilización de productos de origen biológico (Directiva UE 2018/2001).
- iii. Energía eólica. Energía cinética obtenida a partir del viento, a través de aerogeneradores que utilizan esta fuerza de las masas de aire para generar electricidad (Voltio, 2018).
- iv. Energía geotérmica. Energía almacenada en forma de calor debajo de la superficie de la tierra (Directiva UE 2018/2001). A su vez, la energía geotérmica puede ser considerada de alta entalpía, cuando se encuentra en condiciones de temperatura y presión superiores a 150°C, o de baja entalpía, cuando no se alcanzan dichas condiciones y, por lo tanto, no genera electricidad, sino que es utilizada para producir agua caliente y para la climatización (APPA, s.f.).
- v. Energía hidráulica o energía hidroeléctrica. Energía cinética que se obtiene a través de la fuerza de una masa de agua de un río en movimiento. Para ello se utilizan sistemas de turbinas localizados en las centrales hidráulicas (Endesa, s.f.).
- vi. Energía marina. Energía obtenida del potencial energético de los océanos. Dentro de este tipo de energía se encuentran diversas categorías en función del origen de esta potencia oceánica. Así, la energía del mar se obtiene de la energía cinética contenida en las olas (energía de las olas o Undimotriz), corrientes (energía de las corrientes), mareas (energía de las mareas o Mareomotriz), de energía térmica fundada en la diferencia de temperatura

entre el fondo marino y la superficie (energía Maremotérmica) y, por último, de la energía obtenida por la diferencia de salinidad entre el agua de los mares y la de los ríos (energía del gradiente salino o Energía azul) (IDAE, 2021).

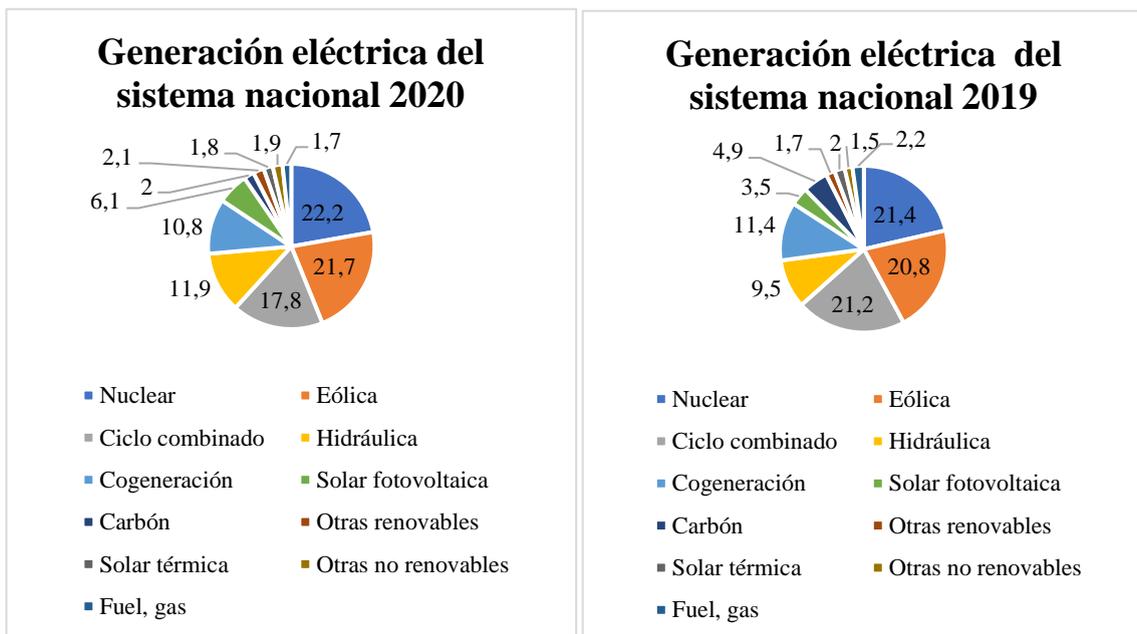
- vii. Energía solar fotovoltaica. Energía obtenida a través de la transformación de la radiación solar mediante paneles fotovoltaicos (APPA, s.f.).
- viii. Energía solar térmica. Energía que consiste en el aprovechamiento de la energía del sol con el objetivo de abastecer diferentes demandas térmicas (IDAE, 2021).
- ix. Energía solar termoeléctrica. Energía producida mediante la concentración de la radiación solar en una superficie reducida, a través de la utilización de espejos, lentes o dispositivos de seguimiento solar (APPA, s.f.).

1.1.3 Mix energético.

I. El mix energético a nivel nacional.

Una vez definidas los distintos tipos de energía renovable y no renovable, se procederá a analizar su presencia en el mix energético español en 2020.

Figura I: Comparativa del mix energético español de los años 2019 y 2020.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Red Eléctrica de España.

Según los primeros datos proporcionados por Red Eléctrica de España (Figura I), en 2020 las energías renovables aportaron el 43,6% de la generación de energía eléctrica, produciendo un total de 109.269 GWh y alcanzando su máximo histórico, frente al 37,5% originado en 2019. Así, la eólica con una participación del 21,7% sobre el total, se sitúa en la segunda posición del mix energético español, ubicándose ligeramente por detrás de la energía nuclear, que aporta un 22,2%.

Por otro lado, destaca la gran subida de la energía solar fotovoltaica, que ha experimentado una crecida interanual de su producción del 65,9%, al aumentar su presencia en el sistema eléctrico nacional de un 3,5% al 6,1% (Red Eléctrica, 2020).

Además, con relación a las fuentes no renovables, cabe subrayar la gran bajada de la producción de carbón, siendo esta de 5.064 Gwh en 2020, cubriendo por lo tanto únicamente el 2% de la generación eléctrica total. Sin embargo, en 2019, la generación de carbón era del 4,9%, pudiéndose observar la gran bajada que ha tenido esta fuente de energía en 2020 (Red Eléctrica, 2020).

Este incremento en energía renovable generada en 2020 con respecto a las fuentes no renovables ha sido propiciado por dos factores. El primero, una subida en potencia renovable instalada, concretamente 2.114 MW nuevos de solar fotovoltaica y eólica. Incremento acompañado de una bajada de la no renovable, concretamente 3.486 MW menos, con respecto a 2019. Así, el 53% de toda la capacidad instalada corresponde a energías renovables superando, por primera vez, a los combustibles fósiles. Este incremento en potencia renovable instalada sigue la marcada tendencia que se viene dando desde el año 2018. El segundo de los factores ha sido unas condiciones meteorológicas y climáticas prósperas para un mejor aprovechamiento de la radiación solar y el viento como fuentes de energías renovables, propiciando de esta forma en 2019 una mayor generación energética (APPA, 2019).

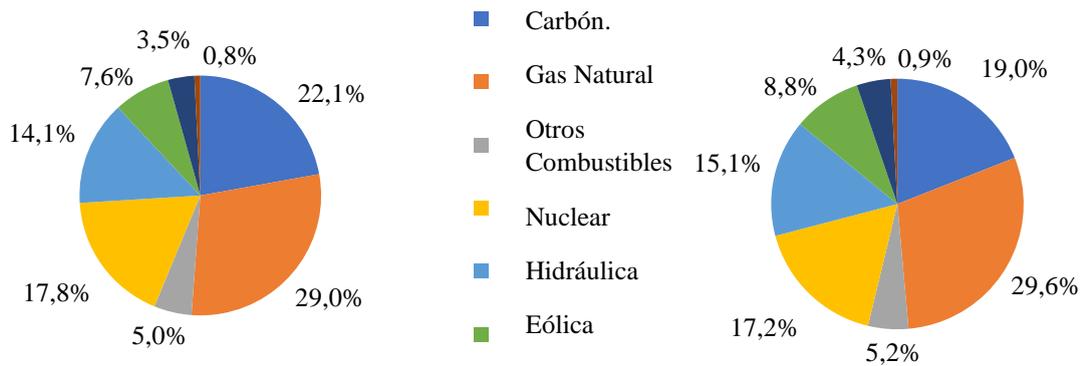
Así, los datos energéticos obtenidos en los años 2019 y 2020 confirman un mix energético español cada vez menos dependiente de los combustibles fósiles, así como el incremento en la presencia de las fuentes renovables y su mayor aportación a la economía nacional.

II. El mix energético a nivel mundial.

A nivel mundial, la situación del mix energético actual es muy similar al panorama español, como puede observarse en la siguiente gráfica. En 2019, la capacidad energética renovable llegó a alcanzar 2537 GWh (Figura II), lo que supuso un incremento de 176 GWh con respecto a las cifras del año anterior. De esta nueva

potencia renovable instalada, el 90% fue aportada por fuentes energéticas solar fotovoltaicas y eólicas (IRENA, 2020).

Figura II: Producción de electricidad de la OCDE por tipo de combustible. Comparación interanual.



Fuente: Elaboración propia a través de los datos obtenidos de IRENA, 2020.

En 2020, las energías renovables añadieron más de 260 GWh al mix energético, alcanzando por lo tanto a nivel mundial 2.799 GWh. Este notable incremento que ha venido marcado por una especial subida en la energía solar fotovoltaica y eólica, ha aportado respectivamente, 127 GWh y 111 GWh nuevos al sistema de generación energética. Como consecuencia, la producción de energía a partir de fuentes renovables experimentó un marcado incremento, pasando de un 26 % en el primer trimestre de 2019 a un 27,5% en el mismo trimestre del 2020. Por otro lado, además de la producción energética renovable, la demanda de esta fuente energética subió un 1,5% en el primer trimestre del año 2020 (IRENA, 2021).

Finalmente debe mencionarse que, de la misma forma que lo ocurrido a nivel mundial, la demanda energética ha sufrido una bajada histórica debido principalmente al impacto del COVID, tema que se tratará más adelante. Sin embargo, las fuentes renovables han sido las más resistentes frente a esta situación siendo las únicas que, como se ha mencionado anteriormente, han visto incrementada su demanda pese a la situación pandémica vivida sobre todo en el año 2020 (Roca, 2020).

1.2 El impacto económico de las energías renovables.

La energía es el principal recurso para casi todos los procesos productivos y, como tal, es esencial para el desarrollo económico e industrialización de los países. Además, el sector energético juega un doble papel ya que, no solo la producción de energía es un sector indispensable de la economía, sino que, su participación en procesos productivos y económicos afecta a la actividad económica en general (Cerović et. al, 2017).

Siendo esto así, existe una relación positiva entre el crecimiento de las economías nacionales y su consumo energético. Un sector energético eficiente y desarrollado, con unos precios eléctricos razonables y que proporcione energía de forma segura, potencia el desarrollo económico. Se puede afirmar, por lo tanto, que el desarrollo de un país está, entre otras cosas, directamente relacionado con la producción de energía (Cerović et. al, 2017).

Por otro lado, nos encontramos con los objetivos marcados por los gobiernos a nivel mundial relacionados con el cambio climático que luchan por mantener el incremento de la temperatura mundial por debajo de los dos grados centígrados. En este sentido, es fundamental el desarrollo de las energías renovables, que son indispensables en la transición llevada a cabo por los distintos países, facilitando la coexistencia de la generación eléctrica y el cuidado del medio ambiente. Mediante el uso de este tipo de energía, las organizaciones intentan reducir la dependencia de los combustibles fósiles, a la vez que se consigue un beneficio económico, social y medioambiental (IRENA, 2018).

La energía renovable, el “combustible del futuro”, está convirtiéndose, por lo tanto, en una parte fundamental del sector energético a nivel mundial, al ser imprescindible para la descarbonización de la energía (Singh et. al, 2019). En concreto, el uso de este tipo de fuente energética supondría una disminución de más del 90% de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía. Así, sin perjuicio otros medios alternativos, las energías renovables y la eficiencia energética son consideradas como las bases del proceso de transición energética (IRENA, 2018).

Por todo ello, con el objetivo de impulsar la generación y consumo de energías renovables y eficiencia energética, estas están siendo objeto de grandes inversiones, entre otras las enfocadas a la planificación y ampliación de la red eléctrica. Se estima que, para conseguir los objetivos marcados por las organizaciones gubernamentales, debe darse una inversión acumulada hasta el año 2050 de 120 billones de USD, lo que supondría una inversión del 2% del PIB medio anual mundial en tecnologías y energías renovables, así como en eficiencia energética. Estas inversiones en el sector de las energías renovables estimulan el desarrollo de las economías y, en consecuencia, el crecimiento tanto directo como indirecto en sectores relacionados potenciando, a su vez, el empleo (IRENA, 2018).

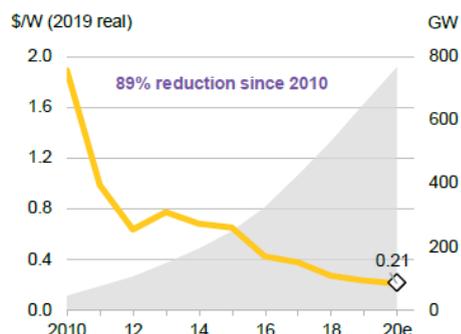
Además, la crisis 2007-2008 fue una gran oportunidad para este sector a nivel mundial, que vio como su crecimiento se aceleró exponencialmente, invirtiéndose en 2008 un total de 155.000 millones de dólares en energías renovables, frente a los 110.000 millones destinados a las no renovables. Este año fue, por lo tanto, un punto de inflexión en el camino a una economía verde, ya que por primera vez se invirtió más dinero en energías limpias que en contaminantes (Oshima, 2019).

Desde el punto de vista económico, la transición energética hacia una economía verde es beneficiosa. Se mejora el PIB, el empleo, el bienestar global y la huella socioeconómica del mix energético. Este impacto positivo de las energías renovables en la economía se sustenta en dos motivos principales.

El primero de ellos, es el hecho de que la energía es un “factor de coste” en el proceso de producción y, por lo tanto, la reducción de los costes de producción hace más competitivo el proceso, aumentando el beneficio final (El Periódico de la Energía, 2019). El coste de obtención de la energía está disminuyendo con la aparición de las energías renovables, siendo la energía solar fotovoltaica y la energía eólica las dos fuentes energéticas más competitivas de media a nivel mundial (Bloomberg, 2020), quedando esto reflejado en la siguiente gráfica (Figura III).

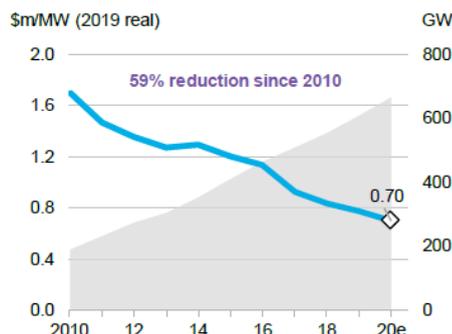
Figura III: Precio de referencia de las turbinas fotovoltaicas y eólicas terrestres y capacidad instalada acumulada.

Figure 65: Benchmark PV module (left axis) price and cumulative installed capacity (right axis)



Source: BloombergNEF

Figure 66: Benchmark onshore wind turbine price (left axis) and cumulative installed capacity (right axis)



Source: BloombergNEF

Fuente: Bloomberg, 2020.

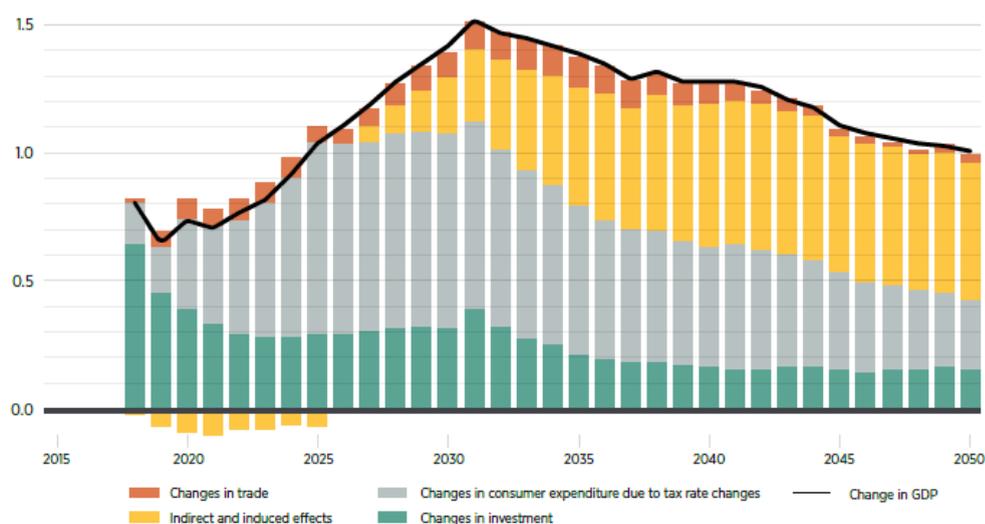
En el caso de la energía solar fotovoltaica, es destacable la caída de un 90% en el precio de los paneles solares desde 2010. Este factor ha contribuido a que, a pesar de que la capacidad adicional instalada ha crecido de media un 30% cada año desde 2010, la inversión necesaria para ello ha crecido únicamente un 3% desde 2010. Por otro lado, el precio por megavatio de una turbina eólica se ha reducido en un 59% entre los años 2010 y 2020 en términos reales (Bloomberg, 2020).

El segundo motivo del impacto positivo de las energías renovables en la economía es el hecho de que es, como tal, un sector económico independiente ya que produce, transporta y vende energía. Por lo tanto, se trata de un sector que influye económicamente, generando riqueza y empleo (IDAE, 2011).

En este sentido, destaca el informe IRENA que ha hecho una estimación del beneficio económico que aportará la transición energética –a lo que ha denominado “escenario objetivo o de transición energética”- comparado con la evolución económica que se esperarían en condiciones normales -denominado “escenario de referencia o tendencial”-.

Este informe llega a la conclusión de que el PIB a nivel mundial se va a ver afectado de manera muy positiva, gracias a la transición energética que va a fomentar un estímulo económico añadido al esperado en condiciones “del status quo”. En el escenario de transición energética se espera un beneficio acumulado por incremento del PIB mundial de 52 trillones de dólares entre los años 2018 y 2050 (IRENA, 2018).

Figura IV: Beneficio acumulado por el incremento del PIB mundial ocasionado por la transición energética.



Fuente: IRENA, 2018.

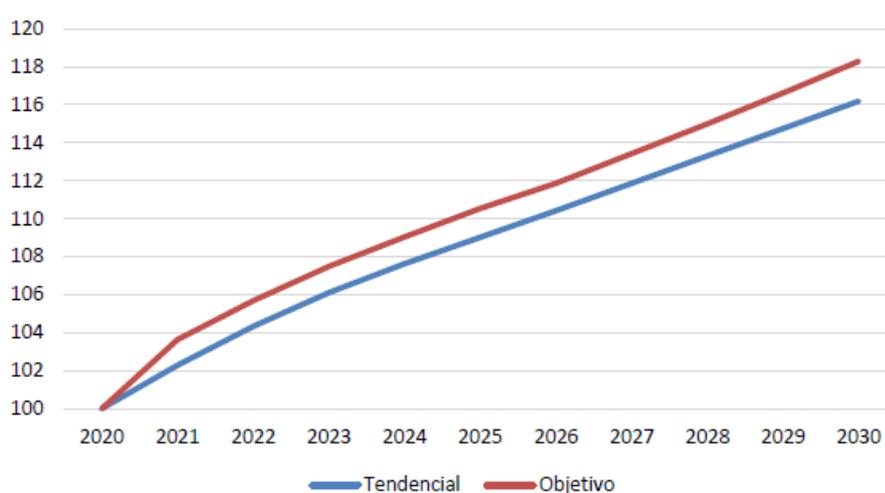
Como puede observarse en la gráfica, que muestra la diferencia en el PIB entre el escenario de transición energética y el de referencia, en el caso de referencia se estima que el PIB aumente en un 3% entre los años 2018 y 2050 en circunstancias normales (Figura IV). Sin embargo, en una situación mundial de transición energética, el PIB incrementaría un 1,5% adicional sobre el escenario de referencia en 2030, año en el cual alcanza su máximo. En cuanto al PIB per cápita, el informe estima que se pueda alcanzar una media mundial en términos reales de 22.400 USD en el año 2050 (IRENA, 2018). En este sentido, debe mencionarse que, el impacto positivo económico mencionado difiere según el contexto socioeconómico de cada país debido a factores como la dependencia de los combustibles fósiles o de los objetivos en materia de transición energética que se hayan marcado. Así, aunque en todos los países el efecto es

positivo, es en México donde se da una mayor mejora total en el bienestar, siguiéndole países como Brasil o la India (IRENA, 2018).

Por otro lado, a nivel nacional, en el año 2019 el sector de las energías renovables aportó 12.540 millones de euros al PIB español, siendo esta la mayor cifra alcanzada desde el año 2012. En 2019 tuvo lugar el mayor aumento de la energía solar fotovoltaica y eólica, con una tasa de crecimiento del 15,6%. Esto unido a los objetivos definidos por el país y la gran contribución del sector tecnológico, hizo posible alcanzar una contribución de más de un 1% del sector de las energías renovables al PIB español (APPA, 2019).

Además, como se ha mencionado, el Gobierno ha elaborado un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), con horizonte 2050 y en líneas similares al informe IRENA, utilizando un escenario tendencial y otro objetivo/transición. Según este informe, de cumplirse los objetivos marcados nacionalmente, el PIB sufriría un aumento de entre 16.500 y 25.700 millones de euros al año (Figura V), lo que supondría 1,8 % del PIB en el año 2030, como muestra la siguiente tabla en relación con la evolución del PIB (MITECO, 2020).

Figura V: Evolución del PIB (% cambio respecto a 2020).



Fuente: MITECO, 2020.

En Europa, el sector energético aporta un 2% de valor agregado bruto a la economía, con un volumen de negocios de 1,8 trillones de euros en el año 2018. Dentro del sector energético, las energías renovables agregan un mayor valor añadido a la economía europea que el sector de los combustibles fósiles, al haber aumentado el volumen de negocios de las renovables hasta los 146 billones de euros en los últimos años. En comparación, el volumen de negocio de los combustibles fósiles ha disminuido desde 702 billones en 2011 hasta los 475 billones en 2019. Además, desde el año 2000 el crecimiento anual del valor agregado bruto ha sido de un 9,4% en el sector de las energías renovables y de un 22,3% en aquellas actividades relacionadas con la eficiencia energética, crecimiento muy por encima del obtenido por los demás sectores económicos en Europa (Comisión Europea, 2020).

El incremento del PIB mencionado gracias a la transición energética, tanto a nivel mundial como europeo y nacional está ocasionado por distintos factores. En primer lugar, un estímulo de la inversión en este sector en el escenario de transición energética, particularmente en los proyectos de generación y distribución de energía obtenida a través de fuentes renovables. El segundo factor son los cambios en los tipos impositivos, uno de los principales contribuyentes al aumento del PIB en la transición energética, como por ejemplo el obtenido a través de los ingresos por el impuesto del carbono. Por último, el tercer factor son los efectos indirectos e inducidos. Mediante la reducción del gasto en energía gracias a la eficiencia energética que se pretende conseguir con la transición, se consigue una reasignación de este gasto en otras partes de la economía, fomentando el incremento del PIB. Debe mencionarse además que, a nivel nacional, un factor que juega un papel importante en el PIB es el comercio. Sin embargo, en el panorama mundial este factor no influye de la misma manera, ya que el efecto de las exportaciones en unos países se suele ver compensado con las importaciones en otros (IRENA, 2018).

El sector de las energías renovables también impacta de forma positiva en el empleo. Para acompañar a la transición energética, es necesaria la creación de una infraestructura adecuada en términos de recursos humanos sobre la que se sustente la expansión de este sector, fomentando la creación de valor local. En este sentido, el estudio REmap estima que en el año 2050 a nivel mundial se crearán 19 millones de

empleos relacionados con el sector de las energías renovables, frente a la pérdida de 7,4 millones de empleos en el ámbito de los combustibles fósiles. Así en el horizonte 2050 se prevé la creación de un total de 11,6 millones de empleos en el mundo gracias al sector de las energías renovables (IRENA, 2018).

A nivel nacional, en 2019 se crearon 95.089 empleos relacionados con el sector de las energías renovables (Tabla I), tanto de forma directa como indirecta, lo que supuso un incremento del 16,9% sobre los datos de 2018. En España, la energía solar fotovoltaica y la energía eólica suponen la mayor aportación a la creación de empleo, generando respectivamente 8.096 y 6.147 nuevos puestos de trabajo en 2019 (APPA, 2019).

Tabla I: Número de puestos de trabajos creados en España por el sector renovable. Años 2018 y 2019.

EMPLEOS	2018	2019
Biomasa	32.326	31.905
Eólica	22.160	28.307
Solar Fotovoltaica	13.274	21.370
Solar Termoeléctrica	5.226	5.246
Biocarburantes	4.483	4.421
Minihidráulica	1.352	1.298
Solar Térmica	875	912
Geotermia Baja Entalpía	760	769

Marina	343	353
Minieólica	302	309
Geotermia Alta Entalpía	193	199
Empleo total	81.294	95.089

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA).

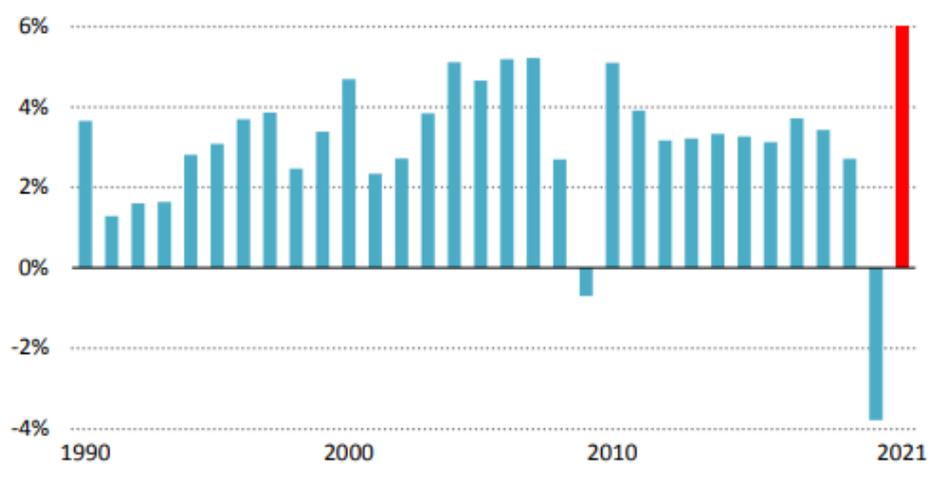
En el panorama europeo, el valor bruto añadido por cada empleado ha incrementado también en un 70% desde el año 2000 en el sector de las energías renovables, lo que muestra una vez más la gran aportación de este sector a la economía (Comisión Europea, 2020).

Por último, debe mencionarse que las energías renovables aportan además un beneficio económico en términos de responsabilidad social corporativa, al hacer que las empresas que empleen este tipo de energía o sus derivados sean respetuosas con el medio ambiente e impacte de forma positiva en la sociedad. Este tipo de políticas, además de beneficiar a la sociedad y al medio ambiente, aportan resultados positivos en las cuentas de las empresas, sobre todo a largo plazo (Isotools, 2013).

1.3 Las energías renovables y la crisis causada por el Coronavirus.

El coronavirus ha provocado a nivel mundial una crisis sanitaria sin precedentes, que ha impactado tanto a nivel social como a nivel económico. La evolución de la economía se ha visto ralentizada, a pesar de las políticas impulsadas por los gobiernos para intentar frenar esta recesión económica, la peor desde la Segunda Guerra Mundial. En el año 2020 el PIB mundial se vio disminuido en un 4,2% (Figura VI) y, se estima que la evolución económica retroceda un 10% hasta que se vuelva a la situación pre-pandémica, que se prevé que no se alcance hasta el año 2025 (DNV,2020).

Figura VI: Tasa de variación anual del PIB mundial.



Fuente: IEA, 2021.

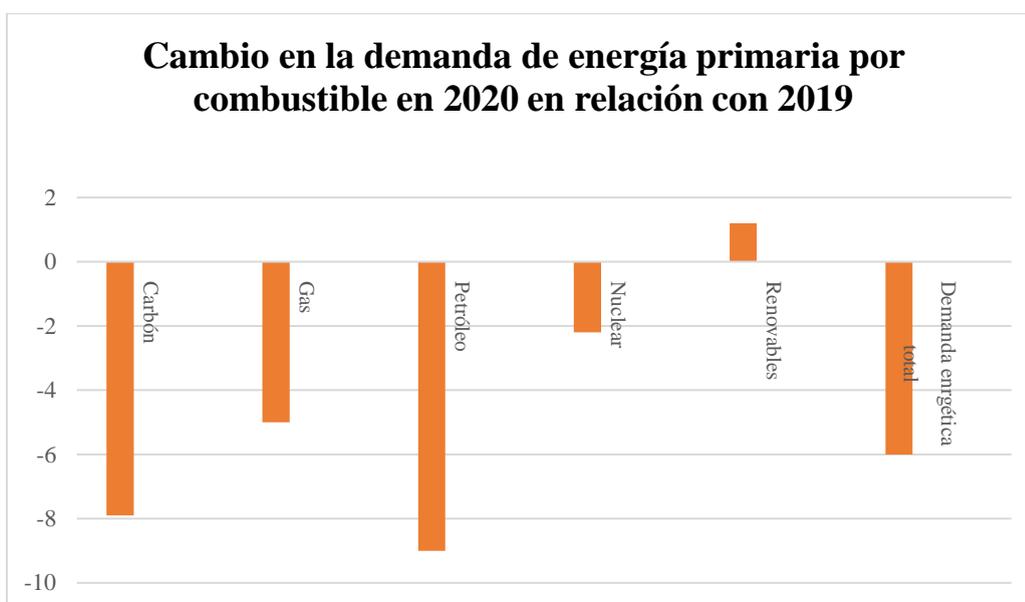
Para intentar frenar esta pandemia, los países han impuesto sobre la población confinamientos, restricciones de movilidad o el cierre de comercios. Estas medidas, a pesar de mejorar la situación sanitaria y el estado de colapso de los hospitales, han impactado de forma negativa en todos los sectores económicos. Concretamente, esta crisis sanitaria ha afectado de forma directa a los volúmenes de producción, ha alterado las cadenas de suministro y distribución, y ha afectado financieramente a las empresas y mercados de valores (Deloitte, 2020).

En mayo de 2020, el 54% de la población mundial había sido confinada domiciliariamente, frenando casi por completo la economía de cada país. Además, desde los gobiernos se han aplicado restricciones, la mayoría de ellas de movilidad, lo que ha dificultado la recuperación económica al impedir reactivar por completo la actividad de los sectores más afectados, como el turismo u hostelería (IEA, 2020).

Además, la implementación del teletrabajo como medida para frenar el avance del coronavirus, ha supuesto un cambio en la forma de organización del trabajo para muchas empresas que han visto este modelo de trabajo como una oportunidad de negocio. Esto ha provocado que tanto los desplazamientos diarios al trabajo como los viajes de negocios se hayan visto reducidos, sobre todo en las economías más desarrolladas.

Como resultado de esta situación, la demanda de energía a nivel mundial ha disminuido de media en un 6%, siendo esta la mayor bajada desde los años treinta del siglo XX. La bajada de consumo energético en cada país se ha visto influida por la duración de los confinamientos domiciliarios, la parada de su actividad económica, la naturaleza de sus sectores económicos dominantes y la rapidez en su actuación para lograr el control de la pandemia. En este sentido, los países desarrollados, con economías avanzadas, son los que más se han visto afectados por esta situación, disminuyendo la demanda de energía en hasta un 10% tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea (IEA, 2020). Tal y como muestra la siguiente gráfica, de todas las fuentes de energía, la única que no ha sufrido una caída en su demanda han sido las energías renovables (Figura VII).

Figura VII: Variación de la demanda energética en los años 2019 y 2020.



Fuente: Elaboración propia a través de los datos obtenidos de la Agencia Internacional de la Energía.

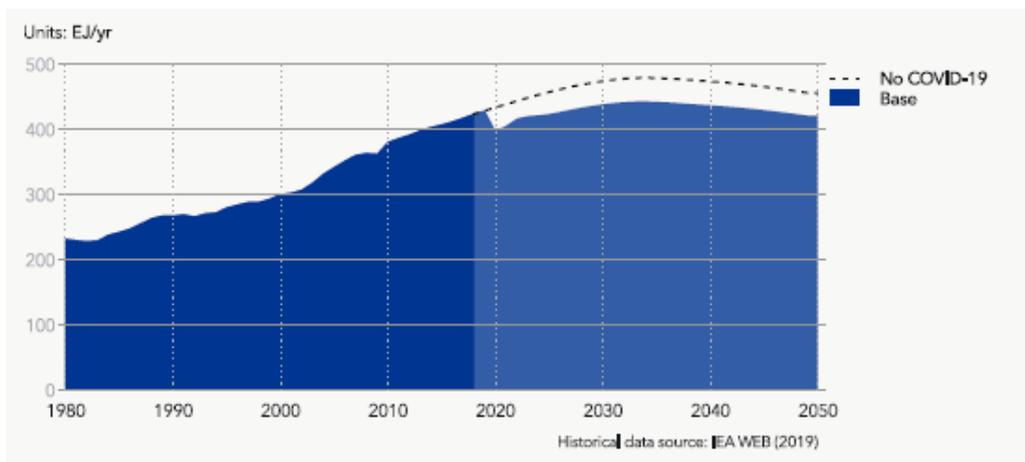
Medidas como las restricciones de movilidad o el cierre de fronteras de países, han reducido el uso de vehículos personales, públicos, y de transporte aéreo. Ello provocó que la demanda de petróleo experimentara en 2020 la mayor de las caídas, concretamente un 9%, teniendo en cuenta que la movilidad supone un 57% de la demanda de petróleo (IEA, 2020).

Sin embargo, el uso de energías renovables ha aumentado a nivel mundial en casi un 1,5%. La demanda de electricidad ha disminuido de forma importante en el año 2020 ya que, el aumento de la demanda eléctrica en hogares y residencias no ha sido suficiente para contrarrestar la caída de demanda ocasionada por la reducción de las actividades económicas y comerciales. A pesar de esta ralentización de la actividad económica, las energías renovables no se han visto afectadas de la misma forma que el resto de las fuentes energéticas ya que suelen tener prioridad en la red y, además, no se exige de ellas que ajusten su producción a la demanda (Bloomberg, 2020). Por otro lado, en 2019 se completaron diversos proyectos renovables, en su mayoría eólicos y fotovoltaicos, lo que supuso a su vez un incremento en la generación energética a partir de energías renovables en 2020. Sin embargo, debe mencionarse que, la alteración de las cadenas de

producción y distribución causada por la pandemia mundial ha provocado que la construcción en el año 2020 de proyectos renovables, sobre todo fotovoltaicos, se ralentizara (IEA, 2020).

El impacto final de la Covid-19 en el sector energético dependerá de la duración de las restricciones y medidas aplicadas por los países para acabar con esta situación. Sin embargo, como se observa en la siguiente gráfica, se estima que la demanda final de energía teniendo en consideración “el efecto coronavirus” será un 8% menor hasta el año 2050 que en el escenario *status quo* (Figura VIII).

Figura VIII: Efecto de la Covid-19 en la demanda energética mundial.



Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2020.

Con el objetivo de paliar esta situación, los gobiernos de todo el mundo están diseñando paquetes de medidas que estimulen la recuperación del sector energético y, consecuentemente, la economía en general. En este sentido no deben olvidarse los objetivos a nivel de transición energética a los que los países se han comprometido, para lo que será esencial las políticas económicas y el dinero público, así como paquetes específicos destinados al impulso de la descarbonización de la economía.

1.4 Las energías renovables como motor de recuperación económica.

Para mitigar los efectos de la crisis económica causada por la pandemia mundial, es esencial que se tomen medidas para asegurar y fomentar la inversión en aquellos sectores con más potencial de cada país. La Covid-19 ha cuestionado una vez más la resistencia de la economía mundial a este tipo de imprevistos. Según datos de la comisión europea el PIB ha caído 6,4% en Europa en 2020 -un 6,8% para los países de la Eurozona- (Earnst & Young, 2020). De entre estos países destacan casos como el de España, cuyo PIB ha disminuido en un 11% (Del Palacio, 2021). Además, esta caída de la economía ha ido acompañada de una pérdida histórica de empleos. Concretamente, en la Unión Europea se ha alcanzado una tasa de desempleo del 7,3%, mientras que en España se ha llegado a alcanzar el 16% en 2020 (Eurostat, 2020).

Por otro lado, como se ha mencionado en el apartado anterior, las energías renovables son la única fuente energética que ha incrementado su demanda con respecto a 2019. Esto pone en evidencia que, aunque la actividad económica en general se haya ralentizado, la transición energética no se ha paralizado.

En este contexto muchos gobiernos están utilizando el sector renovable como motor de recuperación económica, en línea con los objetivos marcados por la Unión Europea de convertirse en climáticamente neutra, lo que ya se conoce como “green recovery”. Para ello, entre otras cosas, se está fomentando la inversión en tecnologías verdes, colaborando entre los distintos estados para mejorar la regulación medioambiental, dando ayudas para la innovación de la industria, dando incentivos para la utilización de renovables, garantizando una mejor eficiencia energética de los edificios y destinando dinero público para asegurar la continuidad de las empresas afectadas por la crisis (Comisión Europea, 2019).

Dentro de las distintas actuaciones llevadas a cabo por los líderes políticos para estimular la economía, destaca el acuerdo al que ha llegado la Comisión Europea de destinar 1,8 billones de euros para reconstruir Europa tras la crisis del Covid-19, de los cuales 373.900 millones de euros han sido asignados a los “recursos naturales y medio

ambiente” (Comisión Europea, 2020). Con este tipo de medidas, se trata de reactivar la economía y fomentar la recuperación del empleo, consiguiendo a su vez, una economía verde y descarbonizada (Gobierno de España, 2021). Además, potencias mundiales como Estados Unidos consideran que el sector de las energías renovables es un importante estimulador doméstico para la economía.

El fomento de las energías renovables como motor de recuperación económica tiene un evidente beneficio social, pero también económico. A pesar de la caída en la demanda energética en el año 2020, las inversiones en renovables y áreas como el hidrógeno verde, han aumentado de forma importante. Concretamente, la inversión se ha incrementado en un 9%, destinándose a nivel mundial 501.300 dólares en el año 2020. Europa ha encabezado esta inversión, siendo esta la mayor desde el año 2012, sobre todo en energía fotovoltaica solar, eólica y coches eléctricos (Trincado, 2021).

Esta inversión ha supuesto a su vez la creación de nuevos empleos en este sector, reconstruyendo las empresas que, de la mano de los gobiernos, están promoviendo la prosperidad económica mientras se lucha contra el cambio climático (National Policy Forum, 2020).

De todos los sectores económicos, el de las renovables se ha posicionado como uno de los más resistentes a los cambios coyunturales. Este sector se ha visto apoyado por la cada vez mayor concienciación social con el medio ambiente, además de una modernización de las infraestructuras eléctricas (Trincado, 2021).

Además, en los últimos años se ha dado un incremento de la competitividad en costes de la producción de energías renovables, lo que ha hecho que este sector sea aún más atractivo como motor de recuperación económica. La bajada en los costes de la generación de energía renovable se debe a la mejora de las economías de escala, del desarrollo de las tecnologías, fomentando, a su vez, una mayor competitividad en las cadenas de suministro y distribución (IRENA, 2020).

Concretamente, más de la mitad de la energía obtenida a través de fuentes renovables en 2019 ha sido más económica que la obtenida a través de las nuevas centrales de carbón más baratas. Por otro lado, se estima que la sustitución de solo 500 GW de carbón por energías renovables, en particular eólica y fotovoltaica solar, reduciría el coste del sistema eléctrico en 23.0000 millones de dólares al año, eliminando a su vez un 5% sobre el total de las emisiones mundiales de carbono en 2019 (IRENA, 2020).

Por todo ello, esta mejora en la competitividad de las fuentes renovables ayudará a reducir el impacto económico de la crisis causada por el Covid-19 a la vez que mejora la eficiencia energética y los costes de la producción de energía a largo plazo, ayudando a mitigar los problemas medioambientales (Comisión Europea, 2020).

CAPÍTULO 2. LA ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO.

2.1 Introducción.

El interés por el hidrógeno como portador de energía está creciendo de forma exponencial debido a la cada vez mayor preocupación social tanto por el medio ambiente como por el agotamiento de los combustibles fósiles. Como se explicará en este capítulo, el hidrógeno puede ser obtenido sin emitir carbono a la atmósfera por lo que podría sustituir a fuentes energéticas como el petróleo y constituir la base de un sistema energético verdaderamente sostenible: la economía del hidrógeno (United Nations Environment Programme, 2006).

Para conseguir una economía basada en la producción de hidrógeno a través de energías renovables, el coste de producción de este tipo de hidrógeno debe disminuir. Para ello es necesario que haya un incremento de la demanda de hidrógeno verde, así como un rápido despliegue de la infraestructura tecnológica necesaria para producir grandes cantidades de este vector energético¹ (Bloomberg, 2020). Esto requerirá fuertes inversiones tanto privadas, como gubernamentales a nivel mundial, así como medidas políticas y esfuerzos conjuntos de todos los Estados Miembros (Pandev et. al, 2017).

Así, se prevé que el hidrógeno sea un pilar esencial en la economía de un futuro no tan lejano, sobre todo en ámbitos como el almacenamiento de energías renovables o en el sector del transporte. En este último sector serán de gran importancia los dos mecanismos que hacen posible el funcionamiento de un vehículo con hidrógeno, la pila de combustible o el motor de combustión (Valero, 2010). De esta forma, una economía del hidrógeno basada en tecnologías como la pila de combustible se presenta como una forma recomendada por expertos para conseguir una mayor independencia del sector energético en toda Europa. Se eliminaría, de la mano de las energías renovables, casi por completo la dependencia de los combustibles fósiles, alcanzando los objetivos energéticos europeos y mejorando la calidad de vida de la sociedad (Pandev et. al, 2017).

¹ Agente que transporta algo de un lugar a otro, en este caso energía.

Como se ha explicado en el capítulo anterior del presente trabajo, la oferta energética, así como el sector energético de un país, está íntimamente relacionado con su economía. Por ello, tanto los Estados Miembros de la Unión Europea como las demás potencias a nivel mundial han priorizado el desarrollo de una cartera energética que sea diversa y eficiente. Con ello se pretende conseguir el doble objetivo de cumplir los objetivos de política climática y realzar la economía. En este contexto el hidrógeno va a jugar un papel esencial y por ello se va a ver beneficiado de los fondos del paquete energético destinado a la transición a una economía con baja emisión de carbono y resistente al clima (Pandev et. al, 2017). Además, geopolíticamente el hidrógeno será decisivo para acabar con la dependencia de los países exportadores de petróleo, consiguiendo una mayor redistribución del poder y un sector energético más seguro (Valero, 2010).

Debe mencionarse que el actual interés por el hidrógeno ya se ha visto en otros momentos de la historia. De hecho, el término “economía del hidrógeno” fue acuñado por primera vez en el año 1970 por el profesor John Bockris (Brandon et al, 2017). Entre las distintas etapas de su desarrollo destaca el esfuerzo que realizó Estados Unidos en 2003, cuando se realizó el mayor despliegue de medios tecnológicos para impulsar el hidrógeno en medios de transporte visto hasta ese momento. Sin embargo, esta iniciativa perdió fuerza debido al problema que ocasionaba el tener que desarrollar la infraestructura necesaria y los vehículos a la vez (IEA, 2019).

Por el contrario, es mayoritaria la opinión actual sobre que en este momento sí que se cuentan con los medios idóneos para desarrollar la economía del hidrógeno, alineándose todos los países para alcanzar este objetivo. Así, aunque el desarrollo y la realización de esta economía basada en el hidrógeno ha sido y será un reto debido a las grandes inversiones infraestructurales necesarias, parece el hidrógeno se está consolidando como el último paso en el camino hacia una economía no contaminante.

2.2 Concepto de hidrógeno y propiedades.

El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo y el tercero en la Tierra. Es a la vez uno de los elementos más simples, al estar únicamente compuesto de un electrón y un protón (Fernández-Bolaños, s.f). Normalmente se encuentra en estado gaseoso y tiene un alto contenido energético en peso. Sin embargo, no se encuentra en estado libre en la Tierra, por lo que debe obtenerse a través de compuestos ricos en hidrógeno. Así, el hidrógeno es un portador de energía, no una fuente como el gas natural o el petróleo, siendo por lo tanto una fuente secundaria (United Nations Environment Programme, 2006). En este sentido, el hidrógeno puede obtenerse de distintas maneras, y se puede clasificar de acuerdo con su impacto medioambiental (Morante et al, 2020).

2.2.1 Clasificación.

Dependiendo de la materia prima que se consume para la generación del hidrógeno, se distinguen tres tipos:

En primer lugar, se encuentra el hidrógeno gris, que se obtiene implantando procesos intensivos de carbono a combustibles fósiles, liberando por lo tanto grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera. La obtención de este tipo de hidrógeno es la más baja en costes, pero, sin embargo, no está alineada con los objetivos mundiales de descarbonización (World Energy Council, 2019).

En segundo lugar, se encuentra el hidrógeno azul, aquel cuyas emisiones de carbono emitidas a causa de su obtención son capturadas por sistemas especializados en ello e incluso, reutilizadas (World Energy Council, 2019). Los costes derivados de la producción del hidrógeno azul varían dependiendo del país en el que se obtenga, debido a su sujeción a los precios del gas natural y de la necesidad de utilización de sistemas que capturen el carbono emitido, denominados CAC. Sin embargo, aunque sea menos competitivo en costes que el hidrógeno gris, tienen una mayor aceptación social al ser menos contaminante, por lo que se estima que este tipo portador de energía sea uno de los que dominen el futuro mercado del hidrógeno (Gaffney Cline, 2020).

Por último, nos encontramos con el denominado hidrógeno verde, aquel generado directamente a partir de fuentes de energía renovable (Van Hulst, 2019). Este tipo de hidrógeno no produce por lo tanto emisiones de carbono y, según señala la Agencia Internacional de la Energía (AIE), mediante este método de obtención del hidrógeno verde se ahorrarían los 830 millones de toneladas de dióxido de carbono que se emiten anualmente (Iberdrola, 2021). Sin embargo, la producción de este tipo de hidrógeno es la más elevada en costes, haciéndola menos competitiva en el mercado.

El hidrógeno está ganando atractivo frente a los combustibles fósiles debido a su potencial con respecto a sus ventajas medioambientales. Sin embargo, como ha quedado explicado anteriormente, estos beneficios varían en función de las tecnologías que se empleen en su producción. Por lo tanto, en la medida en que el hidrógeno sea utilizado en pilas de combustible no contaminantes y en su proceso de producción no se emita carbono a la atmósfera o bien se capture el emitido, el hidrógeno aportará numerosos beneficios medioambientales (United Nations Environment Programme, 2006).

Además, es importante tener en cuenta que el ciclo de producción del hidrógeno verde devuelve a la tierra la misma cantidad de agua que la empleada en primer lugar. El agua recogida se separa, mediante la utilización de energías renovables en sus dos componentes, oxígeno e hidrógeno. Posteriormente el hidrógeno se almacena, transporta, distribuye y utiliza mediante diferentes sistemas como, por ejemplo, motores de combustión o pilas de combustible que generan electricidad y vapor de agua (Aguer et al, 2007).

De esta forma, el hidrógeno se presenta como una pieza clave en el proceso de descarbonización en el que está inmerso el mundo. Dentro de los diversos usos del hidrógeno, que se definirán más adelante, el más prometedor es su utilización como nuevo vector energético ayudando, entre otras cosas, al almacenamiento de los excedentes de energía producidos mediante fuentes renovables.

2.3 El papel del hidrógeno en la descarbonización. Usos actuales y potenciales del hidrógeno.

2.3.1 Papel en la descarbonización.

Como se ha venido mencionado, los expertos consideran que el uso del hidrógeno como vector energético va a jugar un papel esencial en la transición energética y, por ende, en la descarbonización (IRENA, 2019). En este sentido, para conseguir los objetivos climáticos se requerirá una molécula limpia, y el hidrógeno es una clara opción para ello. Se trata de un elemento versátil, reactivo, almacenable, transportable, de combustión limpia y que puede producirse con bajas o nulas emisiones (Bloomberg, 2020). Además, gracias al impulso de la energía verde, se están favoreciendo las sinergias entre las fuentes de energía renovable y el hidrógeno verde como vector energético (IRENA, 2019).

Concretamente, el hidrógeno puede ayudar a descarbonizar sectores que tienen más dificultades para reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, como el metalúrgico, siderúrgico, o el transporte de larga distancia y de pesos pesados.

2.3.1.1 Renovables y almacenamiento.

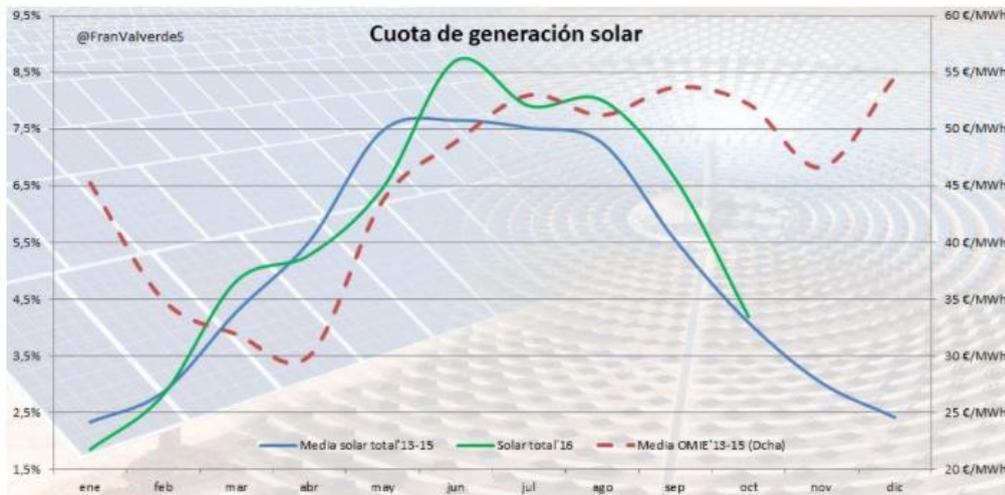
Por otro lado, y sin perjuicio de que el hidrógeno, gracias a su gran versatilidad, puede ser producido por muchas fuentes de energía, puede potenciar el uso de las renovables como se ha mencionado anteriormente. En este sentido, ayudaría a mejorar el problema de almacenamiento al que se enfrentan las fuentes de energía renovable como la solar fotovoltaica o eólica (Temple, 2019).

Al depender esta forma de producir energía de las horas de sol o de viento, se dan periodos de gran producción y otros con una intensidad de producción escasa, siendo difícil asegurar un flujo continuo de electricidad (Sígler, 2019). Además, como consecuencia de los bajos costes de funcionamiento de las fuentes de energía renovable, estas se suelen mantener en continuo funcionamiento para que sean

eficientes, independientemente de la demanda de electricidad, llegando a provocar días con precios de electricidad negativos.

Por otro lado, la producción de energía renovable varía de forma importante entre estaciones, al depender en gran medida de factores climatológicos. En el caso de la solar fotovoltaica (Figura IX), este problema se ve acentuado por el hecho de que en los meses en los que menor producción se da – invierno- es precisamente cuando se alcanzan unos mayores niveles de demanda de energía y viceversa (Hydrogen Council, 2017).

Figura IX: Cuota de generación solar durante el año 2016.



Fuente: Gesternova, 2016.

Por lo tanto, para mitigar esta situación, es imprescindible que la producción de energía renovable se acompañe de unos sistemas de almacenamiento que proporcionen una mejor eficiencia y flexibilidad del sistema energético, así como un mayor aprovechamiento de la generación eléctrica que consiga ajustarse a la demanda (Iberdrola, s.f). Dentro de las distintas opciones de almacenamiento de energía renovable, todo indica que el hidrógeno será la opción más económica y sostenible que permita recoger grandes cantidades de electricidad durante largos periodos de tiempo, incluso meses. Así, el hidrógeno como vector energético podría transportar la energía generada a través de fuentes renovables a grandes distancias haciendo posible el

almacenamiento estacional de este tipo de electricidad, además de ser una fuente complementaria de energía limpia (IRENA, 2019).

Por otro lado, el hidrógeno actualmente está fomentando la creación de cadenas de valor, sobre todo industriales, que a su vez están siendo potenciadas por una dotación de fondos por parte de los gobiernos (Clifford Chance, 2020). En este sentido, diversos estudios demuestran como el hidrógeno puede formar parte de casi todas las partes del sistema eléctrico, incluso en la generación de electricidad (Brandon et al, 2017). Dentro de los usos de este elemento destacan, entre otros, su integración en el sector industrial, de transporte, así como en el residencial y de servicios (Clifford Chance, 2020).

2.3.2 Sector industrial.

El hidrógeno juega un importante papel de reducción de emisiones, sobre todo en este sector tan contaminante, permitiendo el abandono de los combustibles fósiles en estos procesos (Bloomberg, 2020). Además, debe mencionarse que una cuarta parte del consumo energético mundial está relacionada con la industria.

Actualmente, es en el sector industrial en el que se da un mayor empleo del hidrógeno, que se usa principalmente en la producción de amoníaco y el refinado de petróleo al cual se le añade este elemento para la formación de combustible destinado al transporte (IRENA, 2019). Por otro lado, y en relación con el hidrógeno verde, se estima que este se empleará como fuente de energía en procesos industriales, concretamente en aquellos en los que se requiera una gran electrificación, así como importantes capacidades caloríficas, como por ejemplo la industria metalúrgica o siderúrgica (Clifford Chance, 2020). De esta forma, y teniendo en cuenta los altos niveles de producción en estas industrias con su consiguiente emisión de carbono, el hidrógeno podría reducir de forma importante la emisión de carbono en estos procesos (Brandon et al, 2017).

2.3.3 Sector del transporte.

En primer lugar, debe tenerse en cuenta que el sector del transporte produce un cuarto del carbono emitido a la atmósfera. Además, se estima que la actividad del transporte se va a ver incrementada en un 50% en el año 2050. Por ello, en este sector tan importante el hidrógeno es y será una pieza clave. En los últimos años se ha visto un incremento en la producción de coches eléctricos que funcionan mediante baterías eléctricas. Sin embargo, el hidrógeno, mediante las pilas de combustible, presenta diversas ventajas frente a las baterías eléctricas. Un importante beneficio que reportaría sería el que tiene relación con sus tiempos de recarga, ya que actualmente se está trabajando para conseguir una carga total en cinco minutos a diferencia del tiempo necesario para recargar una batería eléctrica, que se sitúa en torno a las cinco horas (Brandon et al, 2017). Por otro lado, permitiría incrementar los kilómetros recorridos sin necesidad de repostaje con respecto a la capacidad de las baterías eléctricas. Además, el coste del hidrógeno mediante pilas de combustible ya está, en la actualidad, y sin tener en cuenta las economías de escala, en la línea del precio del diésel, haciéndolo una opción más que competitiva.

Por otra parte, en el sector marítimo el amoníaco verde procedente del hidrógeno se presenta como una opción viable y prometedora en el proceso de descarbonización. En este sentido, expertos como Stein Kvalsund, CEO de Hub for Ocean/Ocean Hyway Cluster opinan que, teniendo en cuenta la limitación de las baterías eléctricas en relación con las grandes distancias, el hidrógeno tendrá un gran potencial en aquellas aplicaciones que necesiten de una gran cantidad de energía en aras de alcanzar largos alcances (Mosquera, 2021).

2.3.4 Sector residencial y comercial.

Tanto en los hogares como en las empresas e instituciones, se consume una gran cantidad de energía. Concretamente, de la energía producida en los edificios, el 40% corresponde al sector residencial. Esta energía es empleada para el calentamiento del

agua, calefacción, o refrigeración entre otras. De entre estos usos la generación de calor consume más de la mitad de la energía producida a nivel mundial, además de emitir grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera. Por lo tanto, en el sector residencial se está poniendo el foco en la descarbonización del calor, mediante la utilización de mecanismos como la calefacción solar o las bombas de aire. Sin embargo, mediante el uso de estas tecnologías no se ha conseguido todavía satisfacer la demanda energética de los hogares y locales de negocio, en especial en aquellos países en los que la demanda de calefacción es alta y los recursos naturales limitados, como en aquellos cercanos a los polos o en las zonas de bajas temperaturas. Por todo ello, los expertos estiman que, mediante la sustitución del gas natural por el hidrógeno, y de la mano de otras energías renovables, este elemento puede ser clave para dotar a los hogares y empresas de un sistema de calefacción que reduzca las emisiones de carbono a la atmósfera (Brandon et al, 2017).

2.4 Barreras del Hidrógeno como vector energético

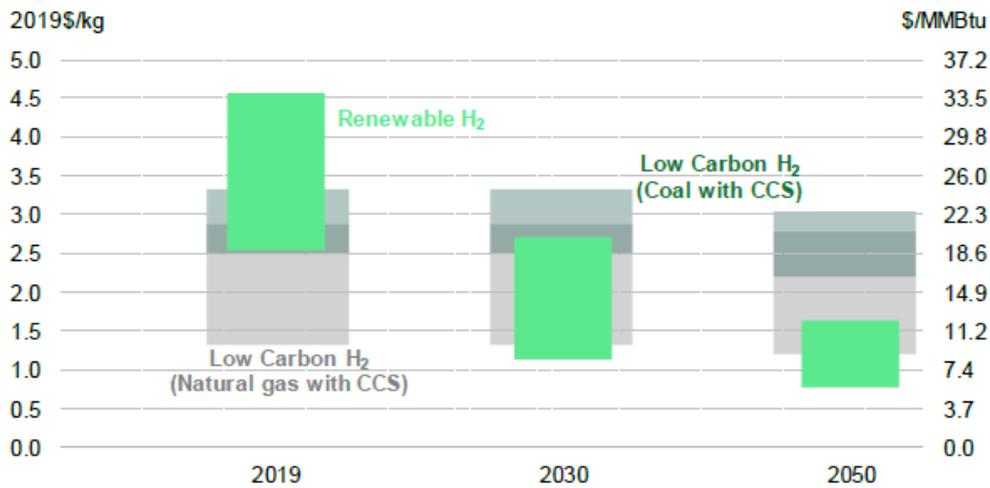
En la actualidad, la principal barrera a la que debe enfrentarse el hidrógeno para introducirse por completo dentro del sector energético es su falta de rentabilidad respecto a sus competidores. Esto se debe a los siguientes motivos:

Hoy en día, el hidrógeno carece de la infraestructura necesaria para ser un producto verdaderamente rentable y sostenible en el mercado. Un claro ejemplo es la escasez de puntos de repostaje de hidrógeno para automóviles en comparación con los miles de gasolineras existentes en todo el mundo. Además, los productores de hidrógeno únicamente han conseguido producir hidrógeno cerca de las localizaciones destinadas a su utilización. Esto se debe a que el transporte del hidrógeno sigue teniendo unos costes demasiado elevados y sería necesario construir una enorme cantidad de tuberías transportadoras, lo que supondría inversiones millonarias para los gobiernos. Una alternativa que podría mitigar o reducir estas inversiones sería la reutilización de infraestructura existente, como pueden ser las tuberías de transporte de gas natural (IRENA, 2020).

Por otro lado, el hidrógeno verde, presenta un problema de competitividad, ya que no solo compite frente a los combustibles fósiles, sino que también lo hace frente al resto de las formas de hidrógeno. El proceso de producción, transporte y almacenamiento del hidrógeno verde sigue siendo superior en costes en comparación con la cadena de valor de otros tipos de energía renovable. Como ya se ha explicado en este trabajo, el hidrógeno, a pesar de ser uno de los elementos más abundantes del planeta no puede obtenerse de forma aislada, necesita de otros elementos como el gas natural, el carbón o el agua para su producción, por ejemplo, a través de la electrolisis (Alcalde, 2020). El problema es que este proceso de producción supone unos costes muy elevados en comparación con sus competidores. La producción del hidrógeno verde sigue siendo el doble de cara que la del hidrógeno gris y aproximadamente el triple que la producción del gas natural. Actualmente, producir 1 kilogramo de hidrógeno verde cuesta alrededor de 5-6 €/kg mientras que producir 1 kilogramo de hidrógeno gris cuesta alrededor de 1-2 €/kg. Además, según el National Renewable Energy Laboratory el coste de los tanques de hidrógeno son aproximadamente dos veces superiores al de los combustibles fósiles (Fairley, 2021).

Sin embargo, a pesar de que el coste de producción del hidrógeno sea actualmente alto, está disminuyendo. Debe tenerse en cuenta que, como se ha mencionado anteriormente, el coste de producción de las energías renovables – fotovoltaica y eólica- ha sufrido un marcado descenso en los últimos años. Por ello, se estima que el precio del hidrógeno renovable se va a ver afectado en consecuencia, reduciéndose en gran medida. En este sentido, se espera lo mismo del coste de electrolizadores, lo que va a posibilitar al hidrógeno alcanzar competitividad en el mercado y en el sector de la energía. Concretamente diversos estudios estiman que, gracias a la caída en los costes de energía solar y eólica, y teniendo en cuenta que el precio de los electrolizadores alcalinos en Europa ha bajado un 40% y en China un 80% en el año 2019, el hidrógeno será competitivo antes de 2050, alcanzando precios de entre 0.8 a 1.6 dólares/kg (Figura X) (Bloomberg, 2020).

Figura X: Previsión de la gama global de costes nivelados de producción de hidrógeno a partir de grandes proyectos.



Fuente: Bloomberg, 2020.

Este incremento de competitividad del hidrógeno se va a ver de forma distinta en los diversos sectores de la economía. Así, se espera que el uso del hidrógeno como vector energético en el sector del transporte sea competitivo antes de 2030, estimándose que medios de transporte como barcos, coches, trenes o camiones alcancen una mayor competitividad en 2025. Sin embargo, la competitividad del hidrógeno en aviones y barcos se retrasará hasta 2040. Por otro lado, se espera que, en este mismo año, 2040, el hidrógeno sea suficientemente competitivo en sectores como la industria o el suministro de calor y energía en los edificios (Periódico de la Energía, 2021).

Además, otro problema al que se enfrentan las instalaciones de hidrógeno es la pérdida de energía que experimenta el hidrógeno a lo largo de toda su cadena de valor. Según el informe de IRENA en 2020, durante la electrólisis se pierde aproximadamente el 35 % de la energía utilizada para su producción, requiriendo también su transporte un aporte energético que se traduce en una pérdida del 10% de la energía acumulada. Esta pérdida de energía dependerá en gran medida del uso final del hidrógeno ya que, si se quiere producir hidrógeno verde, se requerirá una mayor capacidad de energía renovable puesto que las pérdidas de energía en la cadena de valor suelen ser mayores que con los combustibles fósiles (IRENA, 2020).

Por otra parte, el hidrógeno es un gas inoloro y altamente inflamable y es por ello por lo que muchos consumidores sienten rechazo a utilizar vehículos impulsados por este elemento. Sin embargo, en los últimos años la tecnología ha permitido crear sistemas de almacenaje y transporte de hidrógeno extremadamente seguros. El problema es que existe poca información y conciencia social acerca de los beneficios y la seguridad de esta forma de energía, al ser poco conocida. A esta falta de concienciación, se suma la reticencia a la utilización del hidrógeno como motor de propulsión, por parte de los países productores de petróleo, que ven el hidrógeno verde como un principal competidor, al cumplir la misma función que la gasolina, pero sin emisiones contaminantes (Dufour, 2013).

Una de las principales barreras de entrada a los que se enfrentan los productores de hidrógeno son las distintas regulaciones energéticas de los países. Algunos países tendrán unas medidas más estrictas a la hora de impulsar la producción de este tipo de energías mientras que otros conceden grandes subvenciones. En el caso de España, por ejemplo, la regulación es muy estricta en lo que se refiere al posible daño ambiental de las instalaciones, debiendo conseguir la autorización ambiental integrada (AAI). Además, la incorporación del nuevo Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre ha provocado que todas las instalaciones de producción energética que quieran acceder a la red deban presentar un informe detallado del proyecto, que garantice su construcción, con el objetivo de evitar la especulación del mercado (Clifford Chance, 2020). Como se ha mencionado, el hidrógeno es una sustancia extremadamente inflamable por lo que, en función de las características de las instalaciones productoras de hidrógeno, deberán obtener la DEI o declaración de Impacto Ambiental y garantizar así el cumplimiento de la normativa sobre medidas de control de los riesgos relativa a los posibles accidentes que puedan ocasionar sustancias como el hidrógeno, consideradas como peligrosas actualmente (Clifford Chance, 2020).

En resumen, las barreras a las que se tendrán que enfrentar los productores de hidrógeno verde se dividen en dos grandes bloques. En primer lugar, deberán reducir sus costes de producción, transporte y almacenaje para ser realmente un producto rentable y competitivo. Por otro lado, deberán hacer frente a las regulaciones de los países y obtener un gran número de permisos administrativos.

2.5 Cadena de valor del hidrógeno

En este apartado se analizará como es la cadena de valor del hidrógeno, desde su producción, pasando por su almacenaje y transporte hasta su uso final.

2.5.1 Producción.

Actualmente la producción del hidrógeno se puede clasificar en dos en función de las tecnologías utilizadas en este proceso.

I. Producción de hidrógeno a partir de energías renovables.

El hidrógeno se produce a través de una innovadora tecnología llamada electrólisis que consiste en dividir la molécula de agua (H_2O) de manera que queden dos componentes, por un lado, el oxígeno y por otro el hidrógeno en estado gaseoso. Se conectan dos electrodos a una fuente de alimentación, en este caso energía renovable, y esta suministra una corriente eléctrica continua que provoca la separación de ambos componentes. Para realizar la electrólisis existen un gran número de electrolizadores, aunque los más utilizados son los electrolizadores alcalinos ya que son los más rentables en términos económicos y los que más desarrollados están en cuanto a la tecnología que utilizan en el proceso (MITERD, 2020).

Existe otro proceso conocido como la termólisis que, en lugar de utilizar la electricidad para separar la molécula de agua, emplea energía solar concentrada, obtenida a través de placas fotovoltaicas. Sin embargo, esta nueva tecnología sigue en fase de pruebas ya que la pérdida de energía es muy elevada, por lo que se está probando utilizar la radiación solar en lugar de la energía, en un proceso denominado fotoelectroquímico (MITERD, 2020).

II. Producción a partir de gas natural.

El proceso que actualmente más se utiliza es el llamado reformado con vapor o *Steam methane reforming* (SMR). Esta nueva tecnología introduce el vapor de agua dentro de un reactor en donde, gracias la presión de los hidrocarburos y las altas temperaturas, el vapor pasa a través de un catalizador que genera un nuevo gas sintético compuesto principalmente por hidrógeno y monóxido de carbono. Posteriormente se separan ambos componentes y se purifica el hidrógeno. El problema de este proceso es que emite grandes cantidades de monóxido de carbono a la atmosfera por lo que está siendo muy criticado por el sector energético (MITERD, 2020).

2.5.2 Almacenamiento.

Una vez producido el hidrógeno, debe almacenarse, con el objetivo de poder ser transportado a su lugar de consumo. Sin embargo, el almacenamiento del hidrógeno dependerá del estado en el que haya sido producido y por lo general es en estado gaseoso. Existen dos maneras de almacenar el hidrógeno.

I. Depósitos a altas presiones.

El hidrógeno debe mantenerse a una presión aproximada de 800 bares para no perder eficiencia. Actualmente se utilizan depósitos contruidos mediante acero o materiales compuestos conocidos como hidrogenas o pilas de combustible que mantienen el hidrógeno a presiones desde 200 hasta 1000 bares. También se han creado cilindros con materiales resistentes que permiten almacenar el hidrógeno, pero no han llegado a tener el éxito de las hidrogenas ya que poseen una capacidad mucho más escasa (MITERD, 2020).

En España existen actualmente 6 hidrogenas y el gobierno plantea tener contruidas al menos 100 para el año 2030 (Good new energy, 2021).

II. Materiales sólidos.

Otra manera de almacenar el hidrógeno que se encuentra en desarrollo actualmente es la combinación del hidrógeno con metales como el hierro o el níquel creando lo que se conoce como hidruros metálicos. Estos compuestos son capaces de absorber y posteriormente liberar el hidrógeno a través de cambios de temperatura, el problema es que son compuestos demasiado pesados y se pierde demasiada cantidad de hidrógeno tras su liberación (MITERD, 2020).

El problema actual de ambas formas de almacenaje es que no se puede almacenar el hidrógeno durante mucho tiempo por lo que deben de construirse muy próximos o en el propio lugar de producción. Una alternativa futura es la utilización de recursos naturales como acuíferos o cavernas que permitan su almacenamiento durante más tiempo (MITERD, 2020).

2.5.3 Transporte.

El transporte del hidrógeno se puede clasificar en función del estado en el que se encuentre y el medio utilizado para su transporte (MITERD, 2020).

I. En función del estado del hidrógeno.

- El hidrógeno puede transformarse en sustancias líquidas como el amoníaco que carece de componentes con carbono y se conocen como líquidos portadores.
- El hidrógeno en estado gaseoso podrá transportarse mediante los llamados gasoductos o hidrodutos, que son tuberías en las que se transporta el gas natural. El problema es que la mezcla del hidrógeno y el gas natural supone una pérdida de valor de ambas sustancias, además de grandes dificultades para su separación.

- El hidrógeno podrá almacenarse en cilindros transportables en estado líquido, el problema es que se necesita una gran cantidad de energía para mantener el hidrógeno en esta forma.

II. En función del medio de transporte.

- Mar: existen tanques especializados de transporte de hidrógeno líquido que permiten su transporte en grandes cantidades mediante buques mercantes que han llegado a transportar hasta 70 toneladas de hidrógeno líquido.
- Tierra: el hidrógeno se transporta por tierra de dos maneras:
 - Transporte por carretera mediante camiones cisterna capaces de almacenar hasta un total de 4 toneladas de hidrógeno líquido, contenido en tanques o botellas presurizadas.
 - Transporte mediante ferrocarril utiliza el mismo sistema que el transporte por carretera, pero puede almacenar un total de hasta 9 toneladas de hidrógeno líquido.
- Por el momento, el transporte de hidrógeno por vía aérea no se ha conseguido debido a las grandes dificultades que suponen los cambios de presión y de temperatura.

La cadena de valor es un proceso fundamental ya que la elección de la tecnología, el almacenamiento y el transporte, influirán tanto a la cantidad de energía perdida en el proceso como al coste total de la misma, lo que puede suponer una pérdida de competitividad frente a otras fuentes de energía que actúan en el mercado energético (MITERD, 2020).

2.6 La transición hacia la economía del hidrógeno. Políticas económicas necesarias.

Los Gobiernos de todo el mundo, conocedores del gran potencial del hidrógeno como vector energético y de sus enormes beneficios tanto para el medio ambiente como para la economía, han lanzado varios paquetes de ayudas para fomentar el uso de este elemento.

Para acelerar la transición hacia una economía verde basada en el hidrógeno es necesario que se destine una gran cantidad de medios a la inversión en la infraestructura necesaria para producir, transportar, almacenar y distribuir el hidrógeno. Por ello, es imprescindible que todos los países estén comprometidos y destinen fondos a la investigación y desarrollo de un sistema energético basado en el hidrógeno y en las energías renovables (United Nations Environment Programme, 2006).

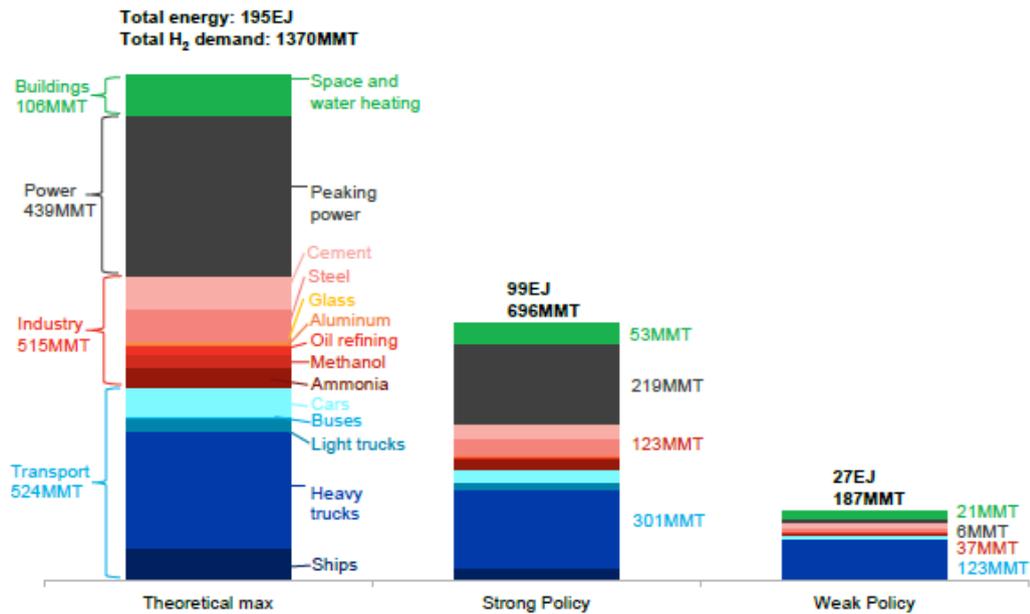
Por otro lado, cabe mencionar que los esfuerzos europeos para lograr una economía basada en el hidrógeno se vienen dando desde el año 2000, año en el que se creó la Asociación Europea del Hidrógeno. Esta asociación ha encauzado los esfuerzos tanto tecnológicos como económicos que se han llevado a cabo por empresas privadas y por el sector público desde su fundación, proponiendo el desarrollo de nuevas tecnologías del hidrógeno en el sector de la industria, comercio y hogar (Aguer et al, 2007).

Además, y en relación con la inversión en este vector energético, el sector privado está también apostando por el hidrógeno, concretamente las compañías energéticas, productores de coches y de productos químicos, empresas de electricidad o los fabricantes de pilas de combustible. En este sentido, se prevé una inversión de entre 3 y 4 billones de euros al año si se dan las condiciones adecuadas y el sector privado se ve apoyado por los gobiernos y por sus respectivos programas energéticos (United Nations Environment Programme, 2006).

Con todo ello, cabe resumir la necesaria acción del sector público para el desarrollo del hidrógeno renovable en dos vías complementarias. La primera de ellas es la inversión de los propios gobiernos en la investigación y desarrollo de las tecnologías del hidrógeno verde, entre lo que destaca la financiación de investigación para lograr la competitividad de este elemento. La segunda vía son los incentivos necesarios que debe dar a las empresas para fomentar la inversión en estas tecnologías en aras de conseguir modelos de negocio que potencien tanto la economía como la transición energética (United Nations Environment Programme, 2006). En este sentido, un estudio realizado por Bloomberg muestra como la cantidad de oferta y demanda de hidrógeno pueden variar

en función del tipo de política- muy fuerte, fuerte o débil- que siga cada gobierno en relación con el desarrollo de esta tecnología (Figura XI).

Figura XI: Demanda potencial de hidrógeno en distintos escenarios en función de la agresividad de la política empleada en relación con el hidrógeno.



Fuente: Bloomberg, 2020.

A nivel europeo se han implementado diversos programas para fomentar el uso del hidrógeno y la eliminación de los combustibles fósiles, destacando entre otras la alianza llevada a cabo por los países miembros de la Unión Europea, dando lugar a la Alianza Europea del Hidrógeno Limpio en julio de 2020. Mediante este acuerdo, se pretende alcanzar una asociación adecuada entre el sector público, la industria energética, el sector privado y la sociedad, logrando una inversión en el hidrógeno óptima que fomente tanto la descarbonización como la competitividad del este elemento (Erbach, 2021).

Además, tras incluir el hidrógeno verde en la Directiva 2018/2001, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, los distintos estados miembros europeos se comprometieron una vez más a fomentar el uso de este elemento para incrementar la competitividad económica europea y la

descarbonización (MITERD, 2020). En este sentido, destaca el denominado Pacto Verde de la Unión Europea o *Green Deal*, un proyecto cuyo objetivo es que Europa sea el primer continente en conseguir una economía climáticamente neutra, sin emisiones y que preserve el medio ambiente. Estas medidas reflejan la preocupación europea por la emergencia climática, por lo que se está dando impulso a muchas empresas del sector energético en el desarrollo de proyectos relacionados con el hidrógeno, generando un impacto positivo en la economía y en el empleo (Comisión Europea, 2021).

A nivel nacional, España se está convirtiendo en uno de los países punteros en la carrera por ser un país pionero en hidrógeno verde. Como se ha mencionado anteriormente, en nuestro país contamos con un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), que es coordinado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y mediante el cual se establecen los objetivos de eficiencia e innovación energética, fomento de energías renovables y eliminación de gases contaminantes. Para ello, se han establecido las líneas de actuación adecuadas para alcanzar estas metas, entre las que se encuentra el impulso del hidrógeno verde. En este sentido, el Gobierno ha aprobado La Hoja de Ruta del hidrógeno, elaborada mediante la colaboración de las administraciones estatales, diversas empresas y ciudadanos. Estos agentes, aportan continuamente iniciativas de proyectos relacionados con las diversas fases de la cadena de valor de este vector energético, que desde el Gobierno consideran imprescindible tanto como para la descarbonización, integrando las energías renovables a gran escala, como para la economía (MITERD, 2020).

Cabe mencionar, además, que el Gobierno ha aprobado recientemente la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, a través de la que dará un impulso mayor al proceso de descarbonización para cumplir los objetivos marcados por la Unión Europea, además de generar empleo y reducir la desigualdad (Noticias Jurídicas, 2021). Así, mediante este avance legislativo se da un paso más en la constitución de un marco legal que sitúe a España como referente mundial en la producción de hidrógeno verde.

Por otro lado, debe recordarse que en España se ha destinado el 40% de los fondos correspondientes al Plan de Recuperación económica a la inversión en la transición

energética (La Moncloa, 2021). De este 40%, se destinarán 1.555 millones al hidrógeno verde, y el Gobierno prevé que se alcancen los 8.900 millones de euros dentro de diez años. España está además forjando alianzas con otros países como Portugal, Italia o Francia, para poner en común recursos y obtener sinergias que les posicionen como líderes europeos en esta tecnología, promoviendo la colaboración empresarial (Pellicer, 2021).

Por último, dentro de los proyectos de innovación con hidrógeno en los que está inmersa España destaca, entre otros la *Green Hyland* en Mallorca, que aspira a convertirse en la isla del hidrógeno europea. Este plan energético fue el primero impulsado por un país mediterráneo en recibir financiación europea, concretamente, diez millones de euros.

Mediante esta iniciativa, se producirán, distribuirán y utilizarán de forma local más de 300 toneladas de hidrógeno verde al año, que se generarán a partir de energía renovable fotovoltaica mallorquina. Así, junto a otros proyectos punteros llevados a cabo por España, el Gobierno pretende convertir al país en un referente en la generación y uso de este vector energético, y que tendrá dos claros beneficios, la descarbonización y el impulso económico (FCH, 2020).

2.7 Oportunidad en el sector de la aviación.

2.7.1 Hidrógeno en el sector energético.

Como se ha explicado a lo largo de todo el trabajo, el hidrógeno es un componente que podría dar solución a los problemas realizados por el cambio climático. Uno de los principales agentes causantes de la emisión de gases nocivos a la atmósfera son los medios de transporte de personas. Actualmente, muchas de las principales marcas automovilísticas como BMW, Honda o Toyota ya han puesto en funcionamiento coches propulsados por hidrógeno. Sin embargo, resulta interesante estudiar cómo podría afectar la utilización del hidrógeno en uno de los sectores más populares y contaminantes de la actualidad, el sector aéreo.

2.7.2 Causas.

Actualmente el sector de la aviación es uno de los más contaminantes del mundo. Se estima que anualmente, dicho sector emite aproximadamente 900 millones de toneladas de CO₂. En cada vuelo, los motores de combustión de los aviones emiten 3,5 kilogramos de CO₂ por cada kilo de queroseno quemado, permaneciendo en la atmósfera superior por un tiempo superior a 50 años. Sin embargo, los problemas no son solo la emisión de CO₂, sino que también emiten óxido de nitrógeno o NO_x, vapor de agua y hollín. El NO_x aumenta el ozono, mientras el vapor de agua junto con el hollín y la combustión crean las llamadas estelas, provocando la radiación y, por tanto, el impacto climático. Estos efectos se traducen en que el sector aéreo es causante de la emisión del 3% de gases de efecto invernadero de la actividad humana y debido al crecimiento constante del sector, se estima que en 2050 estas cifras se puedan triplicar (Clean Sky 2 JU, 2020).

Por todos estos motivos, la Comisión Europea presentó en diciembre de 2019, el Green Deal, un acuerdo con las principales compañías aéreas del mundo para fijar un objetivo de descarbonización del sector de una reducción del 50% de las emisiones en 2050 con respecto a los niveles de 2005. A pesar de que se han realizado muchas mejoras en cuanto a la eficiencia por pasajero de los vuelos comerciales, estos objetivos no parecen poder cumplirse, por lo que la utilización del hidrógeno podría ser una gran alternativa en la persecución de este fin (Clean Sky 2 JU, 2020).

El hidrógeno permitirá reducir prácticamente al 100 % las emisiones de CO₂ de los aviones cumpliendo con todos los objetivos previstos. El hidrógeno verde se espera que aumente considerablemente en la próxima década, haciendo el hidrógeno cada vez más competitivo y permitiendo su utilización en el combustible de los aviones, transformando un sector contaminante, en un sector movido principalmente gracias a la energía renovable. Además, la producción a gran escala de hidrógeno sería un complemento idóneo para el reabastecimiento de combustible de los principales aeropuertos del mundo (Airbus, 2021).

Existen dos maneras a través de las cuales los aviones podrán reducir sus emisiones y sustituirlos por hidrógeno (Clean Sky 2 JU, 2020):

- Nuevas tecnologías de propulsión:
 - La primera forma consistiría en la construcción de aviones con baterías eléctricas o híbridos. Uno de los principales problemas de la aviación es que las baterías tienen ciclos de vida muy limitados y tienen densidades de energía muy bajas por lo que actualmente solo pueden utilizarse en vuelos de corta distancia. Sin embargo, la combinación de baterías eléctricas con pilas de combustible de hidrógeno no solo mejoraría un avance para poder aplicar las baterías a trayectos largos, sino que además la propulsión eléctrica con baterías tendría un gran impacto climático, ya que no causa emisiones ni efectos relacionados con las emisiones de CO₂. Estos aviones se llamarán aviones turboeléctricos.
 - Otra opción que contemplan las aerolíneas es la utilización de motores de combustión de hidrógeno o pilas de hidrógeno que alimentan los motores eléctricos. Sin embargo, el principal problema de esta opción es que actualmente el tamaño, volumen y densidad del hidrógeno son demasiado elevadas por lo que se necesitarían tanques de hidrógeno de gran tamaño, lo que supondría nuevas mejoras tecnológicas y cambios del diseño e infraestructura de las aeronaves.

- Combustibles sostenibles:
 - Actualmente se está desarrollando un nuevo combustible conocido como *sinfuel* o *sincombustible*. Este tipo de combustible utiliza la electricidad para capturar carbono y producir hidrógeno consiguiendo, con la combinación de ambas sustancias, un combustible muy similar al queroseno pero que reduciría considerablemente las emisiones de CO₂ actuales. Una ventaja que tendría esta alternativa respecto al resto de opciones es que no se necesitarían ajustes en los motores ni en la infraestructura de los aviones ya que se podrían mantener los modelos actuales, lo que significaría un enorme ahorro en los costes.

En resumen, el hidrógeno parece una alternativa muy económica y sostenible, sin embargo, en la actualidad el sector aéreo debe enfrentar numerosos problemas. Actualmente, existen numerosas limitaciones tecnológicas como el coste y peso de los

aviones, el hidrógeno sigue siendo más caro y escaso que el combustible tradicional, pero, sobre todo, existe un grave problema con la percepción que tiene los viajeros sobre la seguridad del hidrógeno ya que es considerado un gas muy inflamable.

2.8 Futuro y oportunidades del hidrógeno.

Como se viene reiterando a lo largo del presente trabajo, el hidrógeno es considerado clave en el proceso de descarbonización necesario para cumplir los objetivos mundiales relacionados con el medio ambiente, limitar el calentamiento global a dos grados centígrados. Por lo tanto, los distintos gobiernos a nivel mundial prevén que el hidrógeno como vector energético tendrá nuevas aplicaciones distintas a las ya existentes y que se irán desarrollando en un futuro próximo, como, por ejemplo, en el sector automovilístico (Hydrogen Council, 2017).

En primer lugar, diversos estudios estiman que ya en el año 2050, el hidrógeno será esencial para impulsar a 400 millones de coches mediante pilas de combustible, además de 20 millones de camiones y 5 millones de autobuses. Con todo ello, se estima que, en el sector automovilístico, el hidrógeno contribuirá a reducir las emisiones de CO₂ en un tercio. Además, en este sentido se prevé que, en 2050, se consuman 20 millones menos de barriles de petróleo, lo que fomentará una mayor seguridad energética mundial al ser los países menos dependientes del petróleo (Hydrogen Council, 2017).

De esta forma, el medio ambiente se va a ver beneficiado. Así, se estima que, en 2050, el hidrógeno como vector energético significará aproximadamente una quinta parte del total de consumición energética y representará un 20% de la contribución adicional necesaria para alcanzar los objetivos marcados en la agenda energética mundial (Hydrogen Council, 2017).

Por otro lado, y como se ha mencionado en apartados anteriores, tanto el sistema energético como la economía a nivel mundial van a sufrir un importante impulso gracias al hidrógeno. En primer lugar, diversos expertos y empresarios estiman que en un medio plazo se creará un mercado de hidrógeno mundial, fomentado por el hecho de que pocos

países tienen una ventaja competitiva tanto en la generación del hidrógeno como en su suministro. Esto dará pie a la apertura del comercio internacional del hidrógeno en el que varios países están compitiendo entre ellos para posicionarse como líderes, bien productores o suministradores (World Energy Council, 2019). De esta forma, los países importadores de hidrógeno se verán beneficiados en aspectos como la reducción de los costes energéticos y los países exportadores obtendrán beneficios como inversiones y crecimiento de la economía de este. Es importante recordar que para que estos países se posicionen como fuertes importadores o exportadores será necesario que se dé un marco político adecuado que fomente la inversión en este sector y cuyas actuaciones estén sincronizados con la consecución de objetivos medioambientales marcados en la agenda política mundial (World Energy Council, 2019).

Otra causa de la aparición de este mercado del hidrógeno es el hecho de que para satisfacer el aproximadamente 20% de demanda energética con este elemento será necesaria la generación de grandes cantidades de energía renovable, tanto para la producción del hidrógeno como para cubrir las necesidades habituales del sector eléctrico donde se prevé un aumento masivo de la electricidad renovable como se ha explicado en la primera parte del presente trabajo. En este sentido un estudio de Bloomberg estima que países asiáticos como China, Japón, Corea y gran parte de Europa no van a contar con los recursos necesarios, como por ejemplo terreno, para producir tanta energía renovable, lo que dará lugar a la aparición del comercio del hidrógeno como vector energético. Además, este comercio de hidrógeno a escala mundial favorecerá el crecimiento económico y bienestar (Bloomberg, 2020).

Con todo ello se prevé que la economía basada en este mercado del hidrógeno genere unos ingresos de más de 2,5 billones de dólares al año procedentes tanto de la venta del hidrógeno como vector energético como de la venta de elementos vehículos, maquinaria, equipos industriales o calefactores, entre otros. Por otro lado, este crecimiento económico sostenible que se producirá en los próximos años implicará un incremento de los puestos de trabajo, creándose concretamente más de 30 millones empleos nuevos a nivel mundial hasta el año 2025. Los expertos recalcan que esta industria del hidrógeno implicará una mayor creación de valor añadido que, por ejemplo, la industria petrolífera, debido a una cadena de valor más larga y que incluye a su vez diversos sectores económicos (Hydrogen Council, 2017).

A nivel nacional, en España el hidrógeno verde supondrá beneficios tanto ambientales y sociales como empresariales y económicos. Los objetivos que el Gobierno pretende alcanzar con fecha límite el año 2050 son los siguientes (MITERD, 2020).

En primer lugar, utilizar el hidrógeno como vector energético para reducir la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera y los gases de efecto invernadero, todo ello en línea con los objetivos marcados por la agenda política europea y mundial.

En segundo lugar, se pretende situar a nuestro país como líder en investigación y desarrollo de la tecnología necesaria para el uso del hidrógeno verde, implementando las cadenas de valor pertinentes a nivel local y nacional, consiguiendo así la denominada economía del hidrógeno. En este sentido empresarios y comerciantes de todo el país se verán beneficiados de esta economía, desde astilleros o fabricantes de los componentes hasta empresas dedicadas a la producción de vehículos impulsados a través de hidrógeno o los propios suministradores de este vector energético a gran escala.

En tercer lugar, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto demográfico, empleará el hidrógeno verde para impulsar aún más la energía renovable en España, gracias a la capacidad de almacenamiento de energía gran escala que proporciona el hidrógeno. De esta forma mediante impulso del sistema eléctrico renovable se conseguirá disminuir la dependencia energética nacional a la importación de petróleo de otros países, otorgando en consecuencia una mayor seguridad energética y una mejor gestión de la red. Por último, España tiene el objetivo de posicionarse como uno de los mayores exportadores de energía renovable, incluyéndose en este sentido el hidrógeno verde. Para ello explotará los recursos naturales que posee como, por ejemplo, unas óptimas condiciones climáticas y grandes superficies de terreno que posibilitan la instalación de parques fotovoltaicos y eólicos. Así, España pasará de ser un importador de energía a un líder exportador, lo que beneficiará en gran medida su balanza de pagos y en consecuencia su economía. Con todo ello, la economía del hidrógeno para España implicará generación de riqueza y un gran impacto positivo en su PIB, además de fomentar la creación de puestos de trabajo en cada etapa de la cadena de valor del hidrógeno. Además, potenciando la investigación el desarrollo energético español en el

ámbito de hidrógeno verde las empresas españolas pueden posicionarse como líderes en el sector energético europeo y mundial.

En conclusión, el mercado del hidrógeno será una pieza clave en un futuro cercano, concretamente antes del año 2050, tanto para la descarbonización del medio ambiente como para el impulso de la economía, consiguiendo a su vez una sociedad más implicada y concienciada medioambientalmente y el fomento de la energía sostenible.

CAPÍTULO 3: CONCLUSIONES.

Los gobiernos de todo el mundo consideran que las energías renovables son indispensables para cumplir los objetivos marcados en la agenda política internacional de mantener el incremento de la temperatura mundial por debajo de los 2° centígrados. Así, el proceso de transición energética se sustenta sobre dos pilares fundamentales: la mejora de la eficiencia energética de los países y el impulso de las energías renovables, imprescindible para la descarbonización del medio ambiente. De esta forma se puede llegar a disminuir un 90% de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la producción energética, mientras se obtienen a su vez tanto beneficios sociales como económicos.

El fuerte impulso de la energía renovable se ha materializado en una presencia de más del 43,6% en 2020 en el total de demanda eléctrica de países como España, aumento liderado por la energía solar fotovoltaica. Este cambio que se viene dando en los últimos años ha contribuido a la constitución de un mix energético cada vez menos dependiente de los combustibles fósiles, otorgando una mayor seguridad energética y mayor autonomía.

Como consecuencia de todo ello las energías renovables están siendo objeto de inversión tanto pública como privada, destinada a la investigación y desarrollo, planificación y ampliación de la red eléctrica. Con esta fuerte inversión se ha comprobado cómo, además de impulsar la energía renovable, se fomenta el crecimiento de los sectores relacionados, potenciando el empleo y el desarrollo económico de los países.

Por otro lado, económicamente se ha podido constatar en el presente trabajo cómo una transición energética hacia una economía verde basada en las energías renovables tiene un impacto positivo en la economía, mejorando el PIB, el empleo el bienestar global y la huella socioeconómica energética. Así, en importantes informes se estima que, gracias a la transición energética, se generará un beneficio acumulado por incremento del PIB mundial de 52 trillones de dólares hasta el año 2050.

Además, a nivel nacional, en España el impacto económico que tienen las energías renovables es especialmente positivo, debido a la fuerte posición que tiene nuestro país en este sector. En este sentido, el Gobierno español con su Plan Nacional integrado de energía y clima, ha marcado una serie de objetivos medioambientales, a través de los que pretende reactivar la economía y crear empleo. Concretamente, solo en el año 2019 se crearon en España 95.089 empleos relacionados con el sector de las renovables.

Sin embargo, la crisis sanitaria y económica causada por la COVID-19 ha afectado a todos los sectores económicos y por ende al energético. Las restricciones aplicadas por los gobiernos de todo el mundo han dificultado la recuperación de la economía al impedir que se reactive por completo la actividad de los sectores afectados, afectando en consecuencia financieramente tanto a las empresas como a los mercados de valores. En este sentido el sector energético se ha visto gravemente afectado, debido a los confinamientos domiciliarios y la parada de la actividad económica, disminuyendo la demanda energética mundial en un 6%, la mayor bajada desde los años 30 del siglo XX.

En cambio, aunque la demanda energética haya disminuido, el uso de las energías renovables ha aumentado proporcionalmente en casi un 1,5% a nivel mundial. Este hecho ha demostrado una vez más el fuerte potencial del sector de las energías renovables como motor de recuperación económica. Por ello, los gobiernos de todo el mundo han situado en el centro de los paquetes de medidas de estimulación económica al sector energético, y más concretamente a las energías renovables. Así, solo en la Unión Europea se han destinado 373.900 millones de euros a este sector con el objetivo de reactivar la economía y fomentar la recuperación del empleo, consiguiendo una economía verde y descarbonizada.

Por otro lado, dentro del sector de las energías renovables, el denominado hidrógeno verde está ganando mucha importancia. Tanto los gobiernos como el sector privado vienen mostrando un gran interés por el hidrógeno como portador de energía, por lo que los distintos países del mundo se están encaminando hacia una economía verde basada en el hidrógeno- la economía del hidrógeno. Así, como se ha demostrado en este trabajo, la economía del hidrógeno fundada sobre tecnologías como la pila de

combustible, potenciará una mayor independencia del sector energético alcanzando, de la mano de otras energías renovables, los objetivos medioambientales marcados en la agenda política internacional. Además, con el impulso de la economía del hidrógeno los distintos Estados miembros de la Unión Europea y demás potencias a nivel mundial pretenden realzar la economía.

Esta molécula limpia denominada hidrógeno verde, tendrá un papel fundamental en la descarbonización del medio ambiente, y más concretamente de sectores que presenta mayores dificultades a la hora de reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, como el industrial. Por otro lado, hemos visto como el hidrógeno es una clara solución al problema de almacenamiento estacional que presentan las fuentes renovables como la solar fotovoltaica o eólica que, al no producir un flujo continuo de electricidad debido a su dependencia de los recursos naturales, necesitan de un elemento que sirva para ajustar los niveles de oferta y demanda de energía.

El hidrógeno también va a ser fundamental para el sector del transporte, ya que las pilas de combustible basadas en el hidrógeno presentan importantes ventajas frente a las baterías eléctricas, como menores tiempos de recarga y mayor capacidad. Además, actualmente el coste del hidrógeno en las pilas de combustible está en línea con el precio del diésel, siendo por lo tanto una opción competitiva en este sentido. Debe mencionarse además lo estudiado en relación con el sector aéreo que, según los expertos, podrá reducir, gracias al hidrógeno, prácticamente al 100% las emisiones de dióxido de carbono. Por lo tanto, las grandes empresas aéreas están intentando superar aquellos problemas técnicos que pueda presentar el uso del hidrógeno como combustible aéreo, al considerarla una alternativa económica sostenible y factible.

En cuanto a las barreras que presenta el hidrógeno, en el presente trabajo se ha recalcado como más importante la competitividad de esta tecnología con respecto a otras alternativas energéticas que, sin embargo, no son tan beneficiosas para el medio ambiente. En este sentido, debe resaltarse el gran esfuerzo que están realizando los gobiernos y el sector privado para lograr que el hidrógeno sea competitivo, ya que consideran que la mejora sobre el medio ambiente compensa el coste de obtención y de

transporte respecto a los medios fósiles. Con esta inversión se está logrando que el coste de producción del hidrógeno disminuya importantemente. Así, diversos estudios estiman que el hidrógeno será competitivo antes de 2050 gracias a la caída de los costes de energía solar eólica y a la bajada del precio de los electrolizadores necesarios para obtener hidrógeno.

Para concluir, debe mencionarse también el cambio social que estamos viviendo en relación con la concienciación sobre la importancia del cuidado del medio ambiente. En este sentido la sociedad cada vez es más consciente de la repercusión que tiene cada una de sus acciones, lo que ha fomentado el uso de las energías renovables tanto los propios hogares como en grandes empresas, convirtiéndose esto a su vez en un aliciente para que diversos inversores decidan apostar por estos negocios.

Con todo ello, y gracias a la necesaria acción del sector público y privado en relación con la inversión en la investigación y desarrollo del hidrógeno verde como vector energético, este elemento se ha posicionado como principal pilar de la transición energética futura. De esta forma, tal y como se viene reiterando a lo largo del presente trabajo de investigación, el hidrógeno junto a otras energías renovables como la solar fotovoltaica o eólica, constituyen las bases de una economía verde que realzará la economía y fomentará la creación de una gran cantidad de puestos de trabajo, mientras se alcanzan los objetivos medioambientales marcados en la agenda política internacional. En un futuro próximo se podrá comprobar si verdaderamente se han cumplido estos objetivos y el mundo ha sufrido la necesaria transición hacia una economía verde con beneficios tanto sociales como de índole económica.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aguer, M et al. (2007). *El hidrógeno. Fundamento de un futuro equilibrado*. Obtenido el 04/03/2021 de <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479788094.pdf>
- Airbus. (2021). *Hydrogen. An energy carrier to fuel the climate-neutral aviation of tomorrow*. Obtenido el 23/02/2021 de https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/innovation/hydrogen/airbus_hydrogen_future_aviation_1P.pdf
- Alcalde, S. (2020). Ventajas e inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo. *National Geographic*. Obtenido el 04/04/2021 de https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_14897
- Alomá, E et al. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el Teorema de Carnot en textos universitarios de termodinámica. *Enseñanza de las ciencias*, 25(3), 387–400. Obtenido el 02/02/2021 de https://www.researchgate.net/publication/256971863_ANALISIS_DE_LOS_CONCEPTOS_DE_ENERGIA_CALOR_TRABAJO_Y_EL_TEOREMA_DE_CARNOT_EN_TEXTOS_UNIVERSITARIOS_DE_TERMODINAMICA/link/00b495241a12cc0555000000/download
- APPA. (s.f.). De la energía del futuro a la energía del presente: la competitividad de la fotovoltaica. Obtenido el 02/02/2021 de <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/>
- APPA. (s.f.). Energía solar termoeléctrica. Obtenido el 02/02/2021 de <https://www.appa.es/energia-solar-termoelectrica/>
- APPA. (2019). *Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España*. Obtenido el 01/04/2021 de https://www.appa.es/wp-content/uploads/2020/11/Estudio_Impacto_Macroeconomico_Renovables_Espana_2019.pdf
- APPA. (s.f.). Tipos de fuentes de energía renovable. Obtenido el 02/02/2021 de <https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-tipos-y-ventajas/>

- Bloomberg. (2020). *Climatescope Emerging Markets Outlook 2020*. Obtenido el 04/02/2021 de <https://global-climatescope.org/assets/data/reports/climatescope-2020-report-en.pdf>
- Bloomberg. (2020). *Hydrogen Economy Outlook. Key messages*. Obtenido el 21/03/2021 de <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>
- Brandon et al. (2017). Clean energy and the hydrogen economy. *Philosophical Transactions A*. 375: 20160400. Obtenido el 04/05/2021 de <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0400>
- Cerović, L et al. (2017). Economic Effects of Renewable Energy Technologies. *Naše gospodarstvo/Our Economy*, 63(2), 49–59. DOI: 10.1515/ngoe-2017-0012. Obtenido el 05/02/2021 de https://www.researchgate.net/publication/318020129_Economic_Effects_of_Renewable_Energy_Technologies
- Clean Sky 2 JU. (2020). *Hydrogen-powered aviation. A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050*. Obtenido el 25/04/2021 de https://www.euractiv.com/wp-content/uploads/sites/2/2020/06/20200507_Hydrogen-Powered-Aviation-report_FINAL-web-ID-8706035.pdf
- Clifford Chance. (2020). Hidrógeno verde: el nuevo vector energético. ¿Qué papel quiere desempeñar España en el desarrollo del hidrógeno renovable? Obtenido el 03/04/2021 de <https://www.cliffordchance.com/briefings/2020/10/hidrogeno-verde--el-nuevo-vector-energetico---que-papel-quiere-d.html>
- Colino, A et al. (2010). *La Nueva Geopolítica de la Energía*. Ministerio de Defensa, Instituto Español de Estudios Estratégicos. Obtenido el 01/03/2021 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4548648>
- Comisión Europea. (2019). *Comunicación de la comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité económico y social europeo y al Comité de las regiones. El Pacto Verde Europeo*. Obtenido el

14/03/2021 de https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0004.02/DOC_1&format=PDF

- Comisión Europea. (2020). *Comunicación de la comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité económico y social europeo y al Comité de las regiones. Intensificar la ambición climática de Europa para 2030*. Obtenido el 13/02/2021 de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0562&from=EN>
- Comisión Europea. (2020). *Informe de la comisión al Parlamento y al Consejo sobre los progresos de la competitividad de la energía limpia*. Obtenido el 03/02/2021 de https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/report_on_clean_energy_competitiveness_com_2020_953.pdf
- Comisión Europea. (2020). Plan de recuperación para Europa. Obtenido el 08/03/2021 de https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_es
- Comisión Europea. (2021). Green Deal: El camino para una Europa neutra climáticamente. Obtenido el 25/05/2021 de https://ec.europa.eu/spain/news/20191212_Europe-climate-neutral-2050_es
- Conesa, J. (2011). *Energía Nuclear. Fundamentos, reactores y residuos*. Dspace. Obtenido el 25/04/2021 de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17063/1/energia%20nuclear.pdf>
- Del Palacio, G. (2021). Desplome del PIB: ¿ha afectado a otros países la pandemia tanto como a España? *El Mundo*. Obtenido el 04/04/2021 de <https://www.elmundo.es/economia/macroeconomia/2021/01/29/6014096b21efa07e768b4621.html>
- Deloitte. (2020). El impacto económico del COVID-19. Obtenido el 01/05/2021 de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/about-deloitte/articles/impacto-economico-del-covid19.html>
- Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. (DOUE L 328/82 de 21 de diciembre de 2018).
- Dufour, J. (2013). Obstáculos que aún debe superar el hidrógeno para consolidarse como combustible habitual en motores. *Madrimasd*. Obtenido el

09/05/2021

de

<https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2013/05/23/132064>

- DNV. (2020). *Energy Transition Outlook 2020. A global and regional forecast to 2050*. Obtenido el 05/04/2021 de <https://eto.dnv.com/2020>
- Earnst & Young. (2020). *A Green Covid 19 Recovery and Resilience Plan for Europe*. Obtenido el 05/03/2021 de https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/es_es/news/2020/09/ey-summary-report-green-recovery.pdf
- El Periódico de la energía. (2019). Energías renovables: un factor decisivo en la competitividad y el crecimiento económico. Obtenido el 01/04/2021 de <https://elperiodicodelaenergia.com/energias-renovables-un-factor-decisivo-en-la-competitividad-y-el-crecimiento-economico/>
- El Periódico de la energía. (2021). El hidrógeno será una fuente de energía competitiva en costes en 2030. Obtenido el 05/04/2021 de <https://elperiodicodelaenergia.com/el-hidrogeno-sera-una-fuente-de-energia-competitiva-en-costes-en-2030/>
- Endesa Fundación. (s.f.). Centrales de biomasa y sus tipos. Obtenido el 05/03/2021 de <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>
- Endesa Fundación. (s.f.). Central hidroeléctrica. Obtenido el 05/01/2021 de <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-hidroelectrica>
- Erbach, G. (2021). *EU hydrogen policy Hydrogen as an energy carrier for a climate-neutral economy*. EPRS. Obtenido el 15/03/2021 de [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689332/EPRS_BRI\(2021\)689332_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689332/EPRS_BRI(2021)689332_EN.pdf)
- Eurostat. (2020). Empleo — estadísticas anuales. Obtenido el 02/03/2021 de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Employment_-_annual_statistics/es&oldid=496968
- Fairley, P. (2021). TR10: Hidrógeno verde capaz de competir con los combustibles fósiles. MIT. Obtenido el 06/05/2021 de <https://www.technologyreview.es/s/13204/tr10-hidrogeno-verde-capaz-de-competir-con-los-combustibles-fosiles>

- FCH. (2020). Green Hysland in Mallorca, the first green hydrogen Project in a mediterranean country due to get european funding. Obtenido el 28/04/2021 de <https://www.fch.europa.eu/press-releases/green-hysland-mallorca-first-green-hydrogen-project-mediterranean-country-due-get>
- Fernández-Bolaños, C. (s.f). *Energética del hidrógeno. Contexto, estado actual, y perspectivas de futuro.* Obtenido el 05/03/2021 de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3823/fichero/2.4+Propiedades+del+Hidr%C3%B3geno.pdf>
- Gaffney Cline. (2020). *Focus on Blue Hydrogen.* Obtenido el 20/03/2021 de <https://www.gaffneycline.com/sites/g/files/cozyhq681/files/2020-08/Focus%20on%20Blue%20Hydrogen.pdf>
- Gesternova. (2016). Estacionalidad de las renovables: grandes desequilibrios que la instalación masiva de solar debe compensar. Obtenido el 05/05/2021 de <https://gesternova.com/estacionalidad-de-las-renovables-grandes-desequilibrios-que-la-instalacion-masiva-de-solar-debe-compensar/>
- Gobierno de España. (2021). *Plan de recuperación, transformación y resiliencia.* Obtenido el 01/05/2021 de https://www.lamoncloa.gob.es/temas/fondos-recuperacion/Documents/30042021-Plan_Recuperacion_%20Transformacion_%20Resiliencia.pdf
- Good new energy. (2021). *¿Qué es una hidrogenera y cuántas tenemos en España?* Obtenido el 15/04/2021 de <https://goodnewenergy.enagas.es/innovadores/que-es-una-hidrogenera-y-cuantas-tenemos-en-espana/>
- Hydrogen Council. (2017). *Hydrogen scaling up. A sustainable pathway for the global energy transition.* Obtenido el 05/05/2021 de <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-scaling-up-Hydrogen-Council.pdf>
- Iberdrola. (2021). Green hydrogen: an alternative that reduces emissions and cares for our planet. Obtenido el 10/03/2021 de <https://www.iberdrola.com/sustainability/green-hydrogen>

- Iberdrola. (s.f). Almacenamiento de energía: la clave de un futuro descarbonizado. Obtenido el 14/05/2021 de <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/almacenamiento-de-energia-eficiente>
- IDAE. (2011). *Impacto económico de las energías renovables en el sistema productivo español. Estudio Técnico PER 2011-2020*. Obtenido el 06/03/2021 de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e3_impacto_economico_4666bcd2.pdf
- IDAE. (2021). *Energías del mar*. Obtenido el 05/01/2021 de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/energias-del-mar>
- IDAE. (2021). *Energía solar térmica*. Obtenido el 05/01/2021 de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/energia-solar-termica>
- IEA. (2019). *The future of hydrogen. Seizing today's opportunities*. Obtenido el 04/05/2021 de <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- IEA. (2020). *Global Energy Review 2020. The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions*. Obtenido el 02/03/2021 de <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>
- IEA. (2021). *Global Energy Review 2021. Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO2 emissions in 2021*. Obtenido el 07/05/2021 de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0031107-401d-4a2f-a48b-9eed19457335/GlobalEnergyReview2021.pdf>
- IRENA. (2018). *Transformación energética mundial. Hoja de ruta hasta 2050*. Obtenido el 15/01/2021 de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2018_summary_ES.pdf?la=en&hash=A5492C2AAC7D8E7A7CBF71A460649A8DEDB48A82
- IRENA. (2019). *Hydrogen: A renewable energy perspective*. Obtenido el 06/04/2021 de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf

- IRENA. (2020). *Estadísticas de capacidad renovable 2020*. Obtenido el 07/01/2021 de <https://irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020-ES>
- IRENA. (2020). *Green Hydrogen. A guide to policy making*. Obtenido el 08/05/2021 de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_Green_hydrogen_policy_2020.pdf
- IRENA. (2020). Renewables Increasingly Beat Even Cheapest Coal Competitors on Cost. Obtenido el 05/04/2021 de <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2020/Jun/Renewables-Increasingly-Beat-Even-Cheapest-Coal-Competitors-on-Cost>
- IRENA. (2021). *Estadísticas de capacidad renovable 2021*. Obtenido el 07/01/2021 de <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021-ES>
- Isotools. (2013). Responsabilidad Social: Beneficios económicos. Obtenido el 01/03/2021 de <https://www.isotools.org/2013/09/10/responsabilidad-social-beneficios-economicos/>
- La Moncloa. (2021). El Plan de Recuperación destinará más del 40% de la inversión a la transición ecológica. *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*. Obtenido el 16/03/2021 de https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/060521-transicion_ecologica.aspx
- MITECO. (2020). *Impacto económico, de empleo, social y sobre la salud pública del borrador actualizado del Plan Nacional integrado de energía y clima 2021-2030*. Obtenido el 01/02/2021 de https://www.miteco.gob.es/images/es/pniec_2021-2030_informesocioeconomico_borradoractualizado_tcm30-506495.pdf
- MITERD. (2020). *Hoja de ruta del hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable*. Obtenido el 19/04/2021 de https://www.miteco.gob.es/images/es/hojarutahidrogenorenovable_tcm30-525000.PDF
- Morante et al. (2020). Hidrógeno Vector energético de una economía descarbonizada. *Fundación Naturgy*. Obtenido el 08/04/2021 de

<https://www.fundacionnaturgy.org/publicacion/hidrogeno-vector-energetico-de-una-economia-descarbonizada/>

- Mosquera, P. (2021). El hidrógeno, un combustible cada vez más atractivo para el transporte marítimo. *Energías Renovables*. Obtenido el 16/04/2021 de <https://www.energias-renovables.com/hidrogeno/el-hidrogeno-un-combustible-cada-vez-mas-20210426>
- Nabalía Energía. (2018). Combustibles fósiles, ¿qué son y qué tipos existen? Obtenido el 25/04/2021 de <https://nabaliaenergia.com/combustibles-fosiles-que-son-y-tipos/>
- Naciones Unidas. (2018). El objetivo del Acuerdo de París sobre los 1,5 grados es vital para proteger a las comunidades del aumento del nivel del mar. Obtenido el 14/03/2021 de <https://unfccc.int/es/news/el-objetivo-del-acuerdo-de-paris-sobre-los-15-grados-es-vital-para-proteger-a-las-comunidades-del>
- National Policy Forum. (2020). *Labour's Green Economic Recovery*. Obtenido el 17/04/2021 de <https://labour.org.uk/wp-content/uploads/2020/11/GER-10.11docx.pdf>
- Noticias Jurídicas. (2021). Ley 7/2021: ¿Qué novedades trae la Ley de cambio climático y transición energética? *Noticias Jurídicas*. Obtenido el 24/03/2021 de <https://noticias.juridicas.com/actualidad/noticias/16300-aprobada-la-ley-de-cambio-climatico-y-transicion-energetica/>
- Oshima, T. (2009). En 2008 las renovables dominaron las inversiones energéticas. *El Mundo*. Obtenido el 02/03/2021 de <https://www.elmundo.es/elmundo/2009/06/04/ciencia/1244103852.html>
- Pandev, M et. al. (2017). Hydrogen Economy: the future for a sustainable and green society. *Bulgarian Chemical Communications*. Volume 49 Special Issue C, (pp. 84 – 92). Obtenido el 05/04/2021 de https://www.researchgate.net/publication/317401949_Hydrogen_Economy_the_future_for_a_sustainable_and_green_society
- Pellicer, L. (2021). Los planes de recuperación desatan la carrera por el hidrógeno en la UE. *El País*. Obtenido el 19/05/2021 de <https://elpais.com/economia/2021-05-07/los-planes-de-recuperacion-desatan-la-carrera-por-el-hidrogeno-en-la-ue.html>

- Red Eléctrica. (2020). Previsiones de cierre de año. Obtenido el 06/01/2021 de <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2020/12/las-renovables-alcanzan-el-43-6-por-ciento-de-la-generacion-de-2020-su-mayor-cuota-desde-existen-registros>
- Roca, J. (2020). España entra en el Top 10 mundial de capacidad renovable con un total de 54.592 MW. *El Periódico de la energía*. Obtenido el 06/01/2021 de <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-entra-en-el-top-10-mundial-de-capacidad-renovable-con-un-total-de-54-592-mw/>
- Síglar, E. (2019). ¿Por qué la energía renovable es tan difícil de almacenar?. *Expansión*. Obtenido el 12/05/2021 de <https://expansion.mx/empresas/2019/10/22/por-que-la-energia-renovable-es-tan-dificil-de-almacenar>
- Singh, N, et al. (2019). Renewable Energy Development as a Driver of Economic Growth: Evidence from Multivariate Panel Data Analysis. *Sustainability* 2019, 11, 2418. Obtenido el 06/01/2021 de <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/8/2418>
- Temple, J. (2019). Cómo resolver el gran mal de la energía renovable: el almacenamiento. *MIT*. Obtenido el 09/05/2021 de <https://www.technologyreview.es/s/11537/como-resolver-el-gran-mal-de-la-energia-renovable-el-almacenamiento>
- Trincado, B. (2021). La inversión en tecnologías limpias sortea la pandemia. *Cinco Días*. Obtenido el 05/04/2021 de https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/02/24/companias/1614187139_275946.html
- United Nations Environment Programme. (2006). *The Hydrogen Economy. A non-technical review*. Obtenido el 12/03/2021 de <https://apps.unep.org/redirect.php?file=/publications/pmtdocuments/-The%20Hydrogen%20Economy%20-%20A%20non-technical%20review-2006632.pdf>
- Valero, J. (2010). El espejismo de una energía social. La economía del hidrógeno. *Revista Internacional de Sociología*. Vol.68, nº 2, Mayo-Agosto, 429-452. Obtenido el 05/05/2021 de

<http://revintsociologia.revistas.csic.es/index.php/revintsociologia/article/view/335>

- Van Hulst, N. (2019). The clean hydrogen future has already begun. *IEA*. Obtenido el 06/05/2021 de <https://www.iea.org/commentaries/the-clean-hydrogen-future-has-already-begun>
- Voltio. (2018). ¿Cómo se transforma el viento en energía? Obtenido el 4/05/2021 de <https://voltioenergia.es/como-se-transforma-el-viento-en-energia/>
- World Energy Council. (2019). *New Hydrogen Economy- Hope of Hype?* Obtenido el 09/05/2021 de <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WEInsights-Brief-New-Hydrogen-economy-Hype-or-Hope-ExecSum.pdf>